



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISIS KORELASI KANAL DAN KAPASITAS HF MIMO NVIS

Isma Choiriyah
NRP. 2215105074

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

CHANNELS CORRELATION AND CAPASITIES ANALYSIS OF HF MIMO NVIS

Isma Choiriyah
NRP. 2215105074

Lecture Advisor
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Department of Electrical Engineering
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “**ANALISIS KORELASI KANAL DAN KAPASITAS HF MIMO NVIS**” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Isma Choiriyah
NRP. 2215105074

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

ANALISIS KORELASI KANAL DAN KAPASITAS HF MIMO NVIS

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada**

**Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
NIP. 197011111993031002

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.
NIP. 196109031989031001



ANALISIS KORELASI KANAL DAN KAPASITAS HF MIMO NVIS

Nama : Isma Choiriyah
Pembimbing : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRAK

Sistem komunikasi HF adalah sistem komunikasi yang memanfaatkan pita frekuensi 3 hingga 30 MHz dengan panjang gelombang 10 hingga 100 m. Sistem komunikasi ini digunakan sebagai komunikasi radio jarak jauh karena memanfaatkan pantulan yang disebabkan oleh ionosfer. Salah satu teknik komunikasi HF adalah *Near Vertical Incident Skywave* (NVIS). NVIS menggunakan rentang pita frekuensi 3-10 MHz dengan pemantulan satu kali oleh lapisan F/F2 ionosfer dengan sudut pancaran 70-90° (mendekati vertikal) dan dapat menjangkau area hingga 200 km.

Penggunaan antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dalam komunikasi HF NVIS dapat menaikkan laju data. Implementasi sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini dapat menggunakan *prototype Software Define Radio* (SDR). SDR yang dapat mendukung sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini adalah *Universal Software Radio Peripheral* (USRP). Pengukuran sistem komunikasi ini dilakukan pada *link* komunikasi ITS Surabaya dengan Malang yang memiliki jarak ± 73 km. Frekuensi yang digunakan adalah 7.0225 MHz dan 7.0825 MHz pada *transmitter* dan frekuensi 7 MHz pada *receiver*.

Pengukuran dilakukan pada tanggal 20 dan 21 Juni 2017 pukul 07.00 hingga 17.00 WIB. Pengolahan data yang dilakukan berupa penggeseran frekuensi sinyal dan pemfilteran sinyal untuk mendapatkan nilai respon kanalnya. Selanjutnya dilanjutkan dengan perhitungan koefisien korelasi dan kapasitas. Sehingga berdasarkan hasil pengolahan data tersebut didapatkan bahwa antar kanal pada sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini memiliki korelasi yang kecil. Nilai rata – rata kapasitas dari sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini adalah 60,573 bps/Hz..

Kata Kunci : Kapasitas, Korelasi Kanal, Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS, USRP

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

CHANNELS CORRELATION AND CAPASITIES ANALYSIS OF HF MIMO NVIS

Nama : Isma Choiriyah
Pembimbing : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

ABSTRACT

HF communication system is a communication system that utilizes 3 to 30 MHz frequency band with wavelength 10 to 100 m. This communication system can be used for long distance radio communications because it utilizes reflections caused by the ionosphere. One of the HF communication techniques is Near Vertical Incident Skywave (NVIS). NVIS uses the 3-10 MHz frequency range with one-way reflection by the ionosphere F / F2 layer with an emission angle of 70-90° (close to vertical) and can reach radius up to 200 km.

Utilising Multiple Input Multiple Output (MIMO) antenna in this HF NVIS communication can increase data rate. Implementation of HF MIMO NVIS communication system can use Software Define Radio (SDR) prototype. One of SDR that can support this HF MIMO NVIS communication system is Universal Software Radio Peripheral (USRP). The measurements of this communication system is done on communication links ITS Surabaya with Malang which has a distance of ± 73 km. The frequency used is 7.0225 MHz and 7.0825 MHz on the transmitter and 7 MHz frequency on the receiver.

The measurements is held on 20th and 21st June 2017 at 7 a.m until 5 p.m. Data processing is done in the form of signal frequency shifting and filtering the signal to get the channel response value. Then proceed with calculation of correlation coefficient and capacity. So based on the results of data processing found that the interchannel of HF MIMO NVIS communication system has low correlation value. The mean capacity value of this HF MIMO NVIS communication system is 60.573 bps/Hz.

Kata Kunci : Capacity, Channel Correlation, HF MIMO NVIS Communication System, USRP

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini dengan judul:

ANALISIS KORELASI KANAL DAN KAPASITAS HF MIMO NVIS

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia di jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penulis selama proses menyelesaikan tugas akhir ini, khususnya kepada:

1. Kedua orangtua dan adik penulis (Alm Bapak Rokib, Bu Alisah dan Ahmad Fadlli) atas semua cinta, doa, dukungan dan pengertiannya,
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini,
3. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Elektro ITS khususnya bidang studi Telekomunikasi Multimedia,
4. Semua rekan-rekan di Laboraturium Antena dan Propagasi yang selalu membantu dan memotivasi penulis dikala kebingungan
5. Teman-teman Lintas Jalur dan Reguler TMM, Lintas Jalur Elektro ITS angkatan 2015 yang saya cintai.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menyadari banyaknya keterbatasan. Oleh karena itu penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran untuk perbaikan karya tugas akhir ini.

Semoga buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
TABLE OF CONTENTS.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika.....	5
1.7 Relevansi.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Propagasi Gelombang Radio HF.....	8
2.2 Ionosfer.....	11
2.2.1 Lapisan D.....	12
2.2.2 Lapisan E.....	13
2.2.3 Lapisan F.....	13
2.3 Sistem Komunikasi <i>High Frequency</i> (HF)	14
2.4 Kendala Pada Sistem Komunikasi HF.....	14
2.4.1 Equatorial Spread F (ESF)	14
2.4.2 Sporadi-E	15
2.4.3 Fading	15
2.5 <i>Near Vertical Incident Skywave</i> (NVIS)	17
2.6 Antena.....	18
2.7 Teknologi <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO)	20
2.8 <i>Software Defined Radio</i> (SDR)	23
2.9 <i>Universal Software Radio Peripheral</i> (USRP)	24
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM.....	27
3.1 Pembuatan Sistem	27
3.1.1 Subsistem Pemancar.....	27
3.1.2 Subsistem Penerima.....	28

3.2 Parameter Sistem Komunikasi	29
3.2.1 Pemilihan Frekuensi Kerja.....	29
3.2.2 Spesifikasi Perangkat Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS.....	29
3.3 Pembuatan Sistem.....	34
3.3.1 Pembuatan Antena <i>Dipole</i> $\lambda/2$	34
3.3.2 Pembuatan Program Pemancar	35
3.3.3 Pembuatan Program Penerima.....	37
3.4 Implementasi Sistem.....	39
3.4.1 Perhitungan Sudut Elevasi Pada Implementasi Sistem.....	40
3.4.2 Implementasi Pada Sisi Pemancar	41
3.4.3 Implementasi Pada Sisi Penerima.....	43
3.5 Skenario Pengambilan Data dan Lokasi Pengukuran	44
BAB 4 ANALISA DATA.....	47
4.1 Hasil Pengukuran.....	47
4.1.1 Pengolahan Data Terekam.....	47
4.2 Pengolahan Data.....	49
4.2.1 Perkalian Sinyal Diterima dengan Frekuensi Lokal Osilator	49
4.2.2 Proses Mendapatkan Respon Kanal.....	52
4.2.3 Perhitungan Koefisien Korelasi Kanal	59
4.2.4 Pengukuran Daya Noise	61
4.2.5 Perhitungan Kapasitas HF MIMO NVIS.....	61
BAB 5 PENUTUP.....	67
1.1 Kesimpulan.....	67
1.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN	71
LAMPIRAN A.....	71
Lembar Pengesahan Proposal.....	71
LAMPIRAN B.....	73
Dokumentasi Implementasi dan Pengukuran	73
LAMPIRAN C.....	75
Hasil Data Pengukuran.....	75
LAMPIRAN D	87
Datasheet USRP N210	87
LAMPIRAN E.....	89
Listing Program	89
RIWAYAT PENULIS	95

TABLE OF CONTENTS

STATEMENT ORIGINALITY OF FINAL PROJECT.....	i
APPROVAL SHEET.....	iii
ABSTRACT	v
ABSTRACT.....	vii
FOREWORD.....	ix
TABLE OF CONTENTS.....	xi
TABLE OF CONTENTS.....	xiii
TABLE OF FIGURES.....	xv
TABLES.....	xvii
BAB 1 PREFACE	1
1.1 Background.....	1
1.2 Problems.....	2
1.3 Limitations.....	2
1.4 Purpose.....	3
1.5 Metodology.....	3
1.6 Systematic Report.....	5
1.7 Relevance.....	5
BAB 2 BASIC THEORY.....	7
2.1 HF Wave Propagation	8
2.2 Ionosphere.....	11
2.2.1 D Layer.....	12
2.2.2 E Layer.....	13
2.2.3 F Layer.....	13
2.3 <i>High Frequency (HF) Communication System</i>	14
2.4 Problems in HF Communication System.....	14
2.4.1 Equatorial Spread F (ESF)	14
2.4.2 Sporadi-E	15
2.4.3 Fading	15
2.5 <i>Near Vertical Incident Skywave (NVIS)</i>	17
2.6 Antenna.....	18
2.7 <i>Multiple Input Multiple Output (MIMO)</i>	20
2.8 <i>Software Defined Radio (SDR)</i>	23
2.9 <i>Universal Software Radio Peripheral (USRP)</i>	24
BAB 3 DESIGN SYSTEM.....	27
3.1 General System	27
3.1.1 Transmitter Subsystem.....	27

3.1.2 Receiver Subsystem.....	28
3.2 Communication System Parameter.....	29
3.2.1 Frequency Selecting.....	29
3.2.2 HF MIMO NVIS System Device Spesification.....	29
3.3 System.....	34
3.3.1 Antenna <i>Dipole</i> $\lambda/2$	34
3.3.2 Transmitter Program.....	35
3.3.3 Receiver Program.....	37
3.4 Implementation.....	39
3.4.1 Calculation of Elevation Angle for System Implementation.....	40
3.4.1 Implementation for Transmitter.....	41
3.4.2 Implementation for Receiver.....	43
3.5 Measurement Scenario and Location	44
BAB 4 DATA ANALYSIS.....	47
4.1 Measurement Result.....	47
4.1.1 Recorded Data Processing.....	47
4.2 Data Processing.....	49
4.2.1 Multiplication of Received Signal and Frequency.....	49
4.2.2 Channel Response.....	52
4.2.3 Channel Correlation Coefficient.....	59
4.2.4 Noise Measurement.....	61
4.2.5 Calculation of HF MIMO NVIS Capacitie.....	61
BAB 5 CLOSING.....	67
5.1 Conclusion.....	67
5.2 Suggestion.....	68
REFERENCE.....	69
APPENDIX.....	71
APPENDIX A.....	71
PROPOSAL APPROVAL SHEET.....	71
APPENDIX B.....	73
MEASUREMENT DOCUMENTATION.....	73
APPENDIX C.....	75
MEASUREMENT RESULT.....	75
APPENDIX D.....	87
DATASHEET OF USRP N210	87
APPENDIX E.....	89
LISTING PROGRAM.....	89
BIOGRAPHY.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Metodologi Penelitian.....	4
Gambar 2.1 Macam – Macam Jalur Rambat Gelombang[1].....	7
Gambar 2.2 Lapisan Lapisan Ionosfer Yang Berpengaruh Terhadap Propagasi[16].....	8
Gambar 2.3 Lapisan E, F1, dan F2 dengan frekuensi maksimum selama satu hari[2].....	9
Gambar 2.4 Lapisan Ionosfer[4].....	12
Gambar 2.5 Ilustrasi Gangguan Dikarenakan Sporadic-E[13].....	15
Gambar 2.6 Ketidakfokusan Lintasan Disebabkan oleh Fading[13]..	16
Gambar 2.7 NVIS (<i>Near Vertical Incident Skywave</i>)[7].....	17
Gambar 2.8 Ilustrasi Antena <i>Dipole</i> $\lambda/2$ [1].....	18
Gambar 2.9 Pola Radiasi Antena <i>Dipole</i> . [1].....	19
Gambar 2.10 Arsitektur SDR[12].....	23
Gambar 2.11 USRP Tipe N210	25
Gambar 2.12 <i>Daughterboard</i> (a) LFTX dan (b) LFRX.....	25
Gambar 3.1 Blok Diagram Pemancar Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS.....	28
Gambar 3.2 Blok Diagram Penerima Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS.....	29
Gambar 3.3 Ilustrasi Antena <i>Dipole</i> $\lambda/2$ dengan Balun Diamond BU-50.....	30
Gambar 3.4 USRP N210	31
Gambar 3.5 <i>Daughterboard</i> LFTX dan LFRX	31
Gambar 3.6 Tampilan Labview Communication.....	32
Gambar 3.7 LNA ZFL-1000LN	33
Gambar 3.8 Perakitan Antena <i>Dipole</i> $\lambda/2$	34
Gambar 3.9 Hasil Pengukuran VSWR Antena <i>Dipole</i> Horizontal $\lambda/2$	35
Gambar 3.10 Panel Labview <i>Transmitter</i>	36
Gambar 3.11 Diagram Labview <i>Transmitter</i>	37
Gambar 3.12 Panel Labview <i>Receiver</i>	38
Gambar 3.13 Diagram Labview <i>Receiver</i>	38
Gambar 3.14 Ilustrasi Lintasan Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS.....	39
Gambar 3.15 Ilustrasi Sederhana Geometri Perambatan Gelombang Radio.....	40

Gambar 3.16 Pemasangan Antena Pemancar.....	41
Gambar3.17 Konfigurasi Sisi Pemancar	42
Gambar3.18 Pemasangan Antena Penerima.....	43
Gambar3.19 Konfigurasi Sisi Penerima.....	44
Gambar 3.20 Respon Kanal MIMO 2x2.....	46
Gambar 4.1 Baseband Power Spektrum Pada Channel 1.....	48
Gambar 4.2 Baseband Power Spektrum Pada Channel 2.....	49
Gambar 4.3 Hasil Kali Baseband Ch.1 dengan F_{LO1}	50
Gambar 4.4 Hasil Kali Baseband Ch.1 dengan F_{LO2}	50
Gambar 4.5 Hasil Kali Baseband Ch.2 dengan F_{LO1}	51
Gambar 4.6 Hasil Kali Baseband Ch.2 dengan F_{LO2}	52
Gambar 4.7 Respon Kanal.....	55
Gambar 4.8 Nilai Kapasitas MIMO.....	64
Gambar 4.9 Perbandingan Kapasitas MIMO dan SISO.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembagian Band Frekuensi[1].....	7
Tabel 2.2 Jenis Redaman[2].....	10
Tabel 3.1 Parameter Pada Sisi Pemancar.....	37
Tabel 3.2 Parameter Pada Sisi Penerima.....	39
Tabel 3.3 Parameter Implementasi Sistem Pemancar.....	42
Tabel 3.4 Parameter Implementasi Sistem Penerima.....	44
Tabel 4.1 Hasil Respon Kanal.....	56
Tabel 4.2 Nilai Korelasi Kanal.....	60
Tabel 4.3 Kapasitas Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS.....	62

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terdiri dari pulau – pulau yang membentang dari Sabang hingga Merauke. Kondisi ini menyebabkan sistem komunikasi gelombang *high frequency* (HF) sebagai salah satu teknologi alternatif yang bisa digunakan sebagai sistem komunikasi antar pulau jarak jauh. Sistem komunikasi HF adalah sistem komunikasi yang memanfaatkan pita frekuensi 3 hingga 30 MHz dengan panjang gelombang 10 hingga 100 m.

Sistem komunikasi ini digunakan sebagai komunikasi radio jarak jauh karena memanfaatkan pantulan yang disebabkan oleh ionosfer. Selain itu sistem komunikasi HF ini juga tergolong murah karena tidak membutuhkan repeater untuk mencapai jarak tempuh lebih dari 3.000 km. Selain itu salah satu karakteristik khusus dari sistem komunikasi HF adalah karakteristik kanalnya yang berubah-ubah terhadap waktu, hal ini dikarenakan dia pada kondisi lapisan ionosfer. Lapisan ionosfer memiliki sifat yang berubah-ubah tergantung kondisi radiasi matahari, pada siang hari ia memiliki karakteristik terbaik, sedangkan pada malam hari, menjelang pagi kondisi kanal mencapai titik terburuk.

Salah satu teknik komunikasi HF adalah *Near Vertical Incident Skywave* (NVIS). NVIS menggunakan rentang pita frekuensi 3-10 MHz dengan pemantulan satu kali oleh lapisan F/F2 ionosfer dengan sudut pancaran 70-90° (mendekati vertikal) dan dapat menjangkau area hingga 200 km. Komunikasi radio HF NVIS mampu mengatasi *skip zone* sehingga tidak mempengaruhi kualitas pancaran, apakah berada dilemba, rawa, pantai, dikelilingi genangan air (banjir), padang rumput, hutan lebat, lereng gunung dan sebagainya.

Sistem komunikasi saat ini dituntut untuk menyediakan laju data yang tinggi dan tahan terhadap gangguan serta interferensi. Pada komunikasi komersial hal itu dapat diatasi dengan memanfaatkan penggunaan antenna jamak baik pada sisi pengirim maupun sisi penerima. Hal ini pun dapat dilakukan pada sistem komunikasi radio HF. Penggunaan antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dalam komunikasi HF NVIS dapat menaikkan laju data. Implementasi hasil rancangan dan simulasi sistem MIMO dapat digunakan *prototype Software Define Radio* (SDR). Salah satu varian dari SDR yang dapat

mendukung sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini adalah *Universal Software Radio Peripheral* (USRP). Sehingga untuk membuktikan peningkatan kapasitas kanal HF dengan penerapan MIMO, maka perlu dilakukan pengukuran korelasi kanal MIMO dan perhitungan kapasitas Shannon dari kanal MIMO tersebut. Selanjutnya perlu dilakukan analisa terhadap korelasi kanal dan kapasitas terhadap sistem komunikasi HF MIMO NVIS.

Analisa ini akan menunjukkan seberapa besar korelasi kanal pada sistem komunikasi HF MIMO NVIS dan juga nilai kapasitas sistem komunikasi HF MIMO NVIS. Sehingga untuk mengetahui nilai korelasi kanal dan kapasitas tersebut diperlukan penelitian mengenai analisa korelasi kanal dan kapasitas HF MIMO NVIS. Oleh karena itu, tugas akhir ini akan merancang, mensimulasikan dan mengimplementasikan sistem komunikasi HF MIMO NVIS menggunakan USRP. Perancangan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Labview* yang menghubungkan antara komputer dengan USRP. Implementasi dan pengukuran sistem komunikasi ini dilakukan pada *link* komunikasi ITS Surabaya dengan Malang yang memiliki jarak ± 75 km. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut maka akan dapat didapatkan korelasi kanal dan kapasitas HF MIMO NVIS.

1.2. Permasalahan

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana korelasi kanal pada sistem komunikasi HF MIMO NVIS?
2. Bagaimana kapasitas sistem komunikasi HF MIMO NVIS?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Frekuensi kerja yang digunakan adalah 7.0225 MHz dan 7.0825 MHz.
2. Antena MIMO yang digunakan memiliki konfigurasi 2 x 2.
3. *Hardware* yang digunakan untuk implementasi dan pengukuran adalah *Universal Software Radio Peripheral* (USRP).
4. *Software* yang digunakan untuk implementasi adalah Labview Communication 1.1.

5. Sistem pengukuran komunikasi radio kanal HF NVIS ini memperhatikan gangguan pada kondisi waktu pada *ionosfer*.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah melakukan pengukuran respon kanal untuk menghitung korelasi kanal dan kapasitas dari sistem komunikasi HF MIMO NVIS.

1.5. Metodologi Penelitian

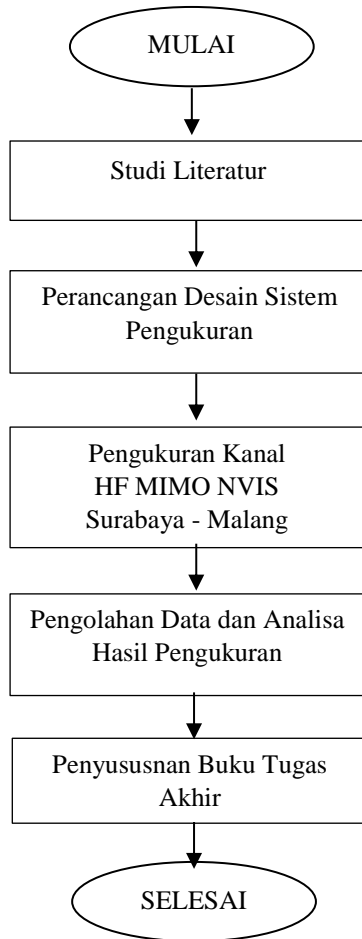
Penelitian tugas akhir ini melalui beberapa tahap seperti yang terdapat pada Gambar 1.1 antara lain:

- a. Studi Literatur
Studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan teori – teori dasar yang dapat menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Sumber dari studi literatur ini dapat berupa buku, jurnal, paper, majalah dan juga hasil penelitian terdahulu yang terkait.
- b. Perancangan Desain Sistem Pengukuran
Pada tahap ini, dilakukan perancangan desain sistem pengukuran yang meliputi jenis antena yang akan digunakan, jumlah antena pengirim dan penerima, frekuensi yang akan digunakan. Setelah semua itu ditentukan maka selanjutnya akan dilakukan pembuatan blok diagram dan perancangan sistem menggunakan *software* Labview Communication 1.1. dan USRP N210. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan simulasi dari sistem pengukuran yang telah dibuat.
- c. Pengukuran Kanal HF MIMO NVIS
Setelah berhasil merancang sistem pengukuran, maka selanjutnya adalah melakukan pengukuran pada *link* komunikasi Surabaya – Malang. Sisi pengirim terletak di Surabaya tepatnya di gedung B Departemen Teknik Elektro ITS dan sisi penerima terletak di Gedung Teknologi Informasi VEDC Arjosari Malang. Sisi pengirim dan penerima ini terpisah sejauh ± 73 km. Waktu pengukuran dilakukan selama 2 hari pada pukul 07.00 hingga 17.00 WIB dengan pengiriman dilakukan setiap 15 menit sekali.
- d. Pengolahan Data Dan Analisa Hasil Pengukuran
Setelah berhasil melakukan pengukuran maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengolahan data dan analisa hasil

pengukuran untuk mendapatkan nilai korelasi kanal dan kapasitas HF MIMO NVIS.

e. Penyusunan Buku Tugas Akhir

Semua hasil analisa yang telah dilakukan kemudian akan disusun menjadi sebuah buku tugas akhir.



Gambar 1.1 Metodologi Penelitian

1.6. Sistematika

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan serta relevansi hasil penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi penjelasan tentang teori – teori yang terkait dalam penulisan tugas akhir seperti sistem komunikasi *high frequency* (HF), karakteristik lapisan ionosfer, *Near Vertical Incident Skywave* (NVIS), antena dipole $\lambda/2$, Teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), dan *Universal Software Radio Peripheral* (USRP).

BAB III Perancangan Sistem

Bab ini membahas tentang perancangan sistem komunikasi HF MIMO NVIS. Perancangan ini meliputi perancangan desain sistem pengukuran dan skenario pengukuran.

BAB IV Analisis Data

Bab ini membahas hasil pengukuran dan pengolahan data hasil pengukuran. Hasil tersebut kemudian dianalisa sehingga akan didapatkan respon kanal, korelasi kanal dan koefisien korelasi. Selanjutnya akan dihitung kapasitas dari sistem komunikasi HF MIMO NVIS.

BAB V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisa penelitian

1.7. Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan Telekomunikasi

Sistem ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengimplementasian sistem komunikasi HF NVIS dengan menggunakan penerapan antena MIMO untuk meningkatkan laju data.

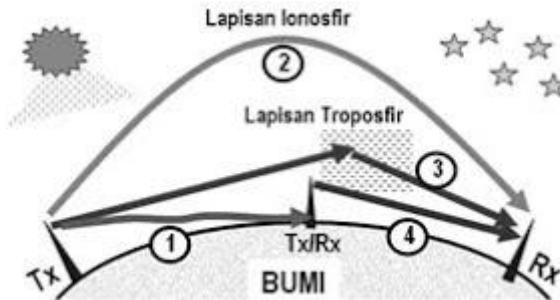
2. Bagi masyarakat

Sebagai komunikasi alternatif untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh alat komunikasi komersial lainnya dan sebagai komunikasi yang murah.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Terdapat empat macam jalur rambatan untuk mengirim sinyal dari pemancar hingga dapat diterima oleh penerima. Empat jalur tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1. Berdasarkan gambar tersebut nomor 1 adalah gelombang yang merambat melalui permukaan tanah atau yang biasa disebut dengan *groundwave*. Nomor 2 adalah gelombang yang merambat melalui lapisan ionosfer yang dikenal dengan *skywave*. Nomor 3 adalah gelombang yang merambat melalui lapisan troposfer dan nomor 4 adalah gelombang dengan lintasan langsung atau yang biasa dikenal dengan *line of sight*. Masing – masing gelombang tersebut dapat merambat menggunakan frekuensi yang berbeda – beda. Pembagian frekuensi itu sendiri telah ada sesuai dengan kesepakatan internasional yang bisa dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Macam-Macam Jalur Rambat Gelombang[1]

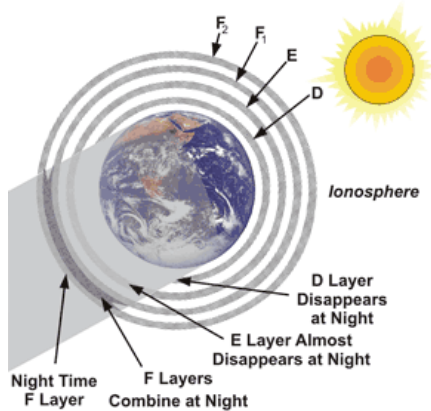
Tabel 2.1 Pembagian Band Frekuensi[1]

Frequency Band	Frequency Range
Extremely Low Frequency (ELF)	<3 kHz
Very Low Frequency (VLF)	3 – 30 kHz
Low Frequency (LF)	30 – 300 kHz
Medium Frequency (MF)	300 kHz – 3 MHz
High Frequency (HF)	3 – 30 MHz
Very High Frequency (VHF)	30 – 300 MHz
Ultra High Frequency (UHF)	300 MHz – 3 GHz
Super High Frequency (SHF)	3 – 30 GHz
Extra High Frequency (EHF)	30 – 300 GHz

2.1 Propagasi Gelombang Radio HF

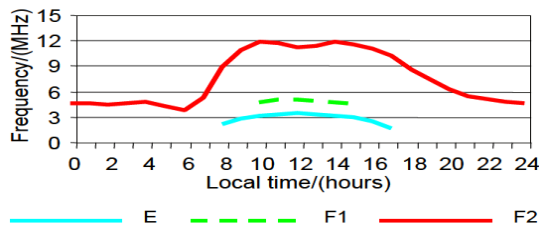
High Frequency (HF) merupakan gelombang radio yang panjang gelombangnya berkisar antara 10 sampai 100 meter, dan bekerja pada frekuensi antara 3 sampai 30 MHz. Propagasi *sky-wave* dipantulkan oleh lapisan ionosfer yang terdiri dari beberapa lapisan berkisar pada ketinggian 50 sampai 400 km di atas permukaan bumi, gelombang ionosfer terpancar dari antena pemancar dengan suatu arah yang menghasilkan sudut tertentu dengan acuan permukaan bumi [2]. Propagasi pada radio HF khususnya pada antena pemancar terdapat mekanisme dasar yang terdiri dari tiga yaitu: *Refleksi* (pemantulan), *Refraksi* (Pembiasan), *Difraksi*, *Scattering* (Penghamburan). Dari tiga mekanisme tersebut dapat menyebabkan terjadinya *multipath fading* sehingga menimbulkan perlambatan waktu, peredaman amplitudo dan pergeseran fasa.

Mode propagasi pada radio HF merupakan jalur yang dilalui gelombang radio dalam perjalanannya dari pemancar ke penerima. Jalur ini banyak dan bervariasi, sehingga perlu dilakukan “pengarahan”, supaya energi terbesar dari gelombang radio yang dipancarkan akan jatuh pada posisi lawan komunikasi (penerima). Perambatan mungkin terjadi dengan 1 *hop* (satu kali pantulan dari ionosfer), 2 *hop* (dua kali pantulan dari ionosfer, dengan pantulan dari permukaan bumi di antara keduanya), dan sebagainya, dan mungkin melalui satu atau beberapa lapisan ionosfer.[2]



Gambar 2.2 Lapisan Ionosfer Yang Berpengaruh Terhadap Propagasi [16]

Ini merupakan keunggulan dari gelombang HF yang melebihi komunikasi radio *line-of-sight* karena dalam perambatannya dapat melalui beberapa kali pantulan lapisan ionosfir. Pada Gambar 2.2 merupakan lapisan lapisan ionosfer yang berpengaruh terhadap Propagasi.



Gambar 2.3 Lapisan E, F1, dan F2 dengan frekuensi maksimum selama satu hari[2]

Secara umum frekuensi pada gelombang radio HF akan meningkat di siang hari dan akan turun pada malam hari ditunjukkan pada Gambar 2.3. Hal ini disebabkan karena pengaruh radiasi matahari yang memproduksi elektron di lapisan ionosfer meningkat saat siang hari sehingga lapisan D, E, dan F terlihat. Pada siang hari radiasi dari matahari akan mencapai nilai maksimum sehingga lapisan F terionisasi oleh energi sinar matahari yang sangat besar dan frekuensi meningkat dengan cepat hingga mencapai maksimum sekitar tengah hari. Selama sore hari, frekuensi berangsur-angsur berkurang secara bertahap ke arah matahari terbenam karena kehilangan elektron dan pada saat gelap lapisan D, E, dan F1 menghilang. Sedangkan pada malam hari, komunikasi hanya terjadi pada lapisan F dengan frekuensi yang akan terus menurun hingga mencapai minimum sebelum fajar tiba. Pada ketinggian ini, atmosfer bumi sangat tipis sehingga ion dan elektron bergabung kembali dengan sangat lambat.

Secara umum salah satu dari karakteristik propagasi gelombang radio adalah attenuation (redaman), redaman merupakan selisih dari daya pancar dengan daya terima. Hal itu disebabkan karena adanya perubahan kondisi kanal propagasi selama proses komunikasi terjadi. Jika daya minimum yang dapat diterima oleh penerima adalah (*watt*) dan (*watt*) adalah daya pancar serta *LS* (dB) adalah

jumlah rugi sistem pada suatu link radio HF *point to point* [4], maka redaman total (dB) dapat ditulis seperti pada persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$A_T = P_T - P_R - L_S \quad (2.1)$$

Pada link komunikasi HF terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi redaman lintasan (*pathloss*). Hal itu ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis Redaman[2]

Simbol	Jenis Redaman	Nilai Tipikal Redaman (dB)
L_a	Redaman <i>absorption</i>	0-20 per hop
L_{FSL}	Redaman <i>free space</i>	5-20
Simbol	Jenis Redaman	Nilai Tipikal Redaman (dB)
L_g	Redaman <i>ground reflection</i>	0-3 per pantulan
L_p	Redaman polarisasi	3-6
L_q	Redaman Sporadic E	0-9

Redaman *absorption* (L_a) adalah redaman yang terjadi karena adanya penyerapan daya dilapisan E sehingga daya tidak dapat diteruskan ke lapisan F. Rugi - rugi ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$L_a = \frac{1}{f^2} \quad (2.2)$$

Dimana:

f = nilai dari frekuensi kerja dalam MHz yang digunakan dalam sistem komunikasi.

Redaman *free space* atau propagasi ruang bebas adalah redaman yang terjadi ketika sinyal yang dipancarkan langsung diterima oleh antenna penerima sehingga tidak ada rugi yang disebabkan oleh *obstacle*. Perhitungan nilai redaman *free space* dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$FSL = 32,4 + 20 \log d + 20 \log f \quad (2.3)$$

Dimana:

d = jarak antara pemancar dan penerima (km)

f = frekuensi kerja (MHz)

Redaman *ground reflection* dipengaruhi oleh nilai konduktivitas dan dielektrik dari pantulan gelombang dipermukaan bumi. Biasanya untuk pantulan dipermukaan air laut, jauh lebih kecil dibanding permukaan bumi yang kering (sekitar 0 dan 3 dB).

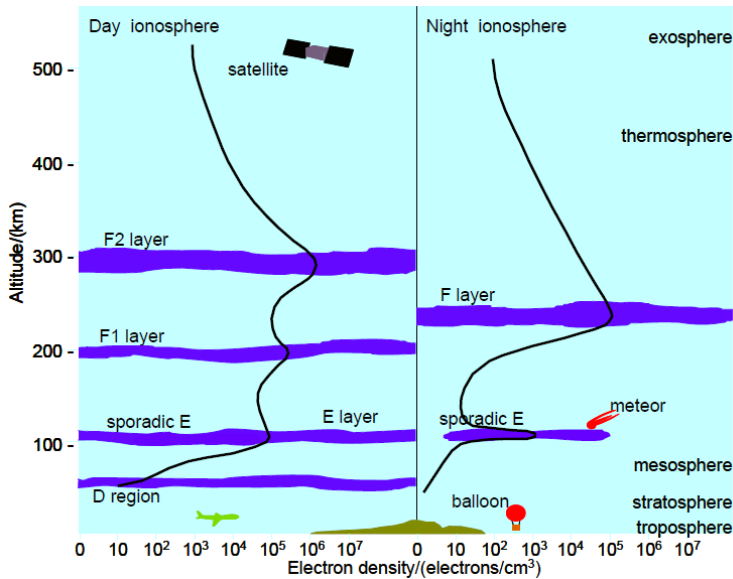
Redaman polarisasi terjadi karena adanya perbedaan polarisasi antara gelombang yang diterima dengan antenna penerima. Sedangkan pada redaman *sporadic E* dipengaruhi oleh nilai *critical frequency* di lapisan E sporadic.

Maka terdapat total redaman pada lintasan komunikasi HF dapat dihitung dalam persamaan 2.4 berikut:

$$A_T = L_a + L_{FSL} + L_g + L_p + L_g \quad (2.4)$$

2.2 Ionosfer

Ionosfer adalah lapisan pada atmosfer yang terletak pada ketinggian 50-500 km dari permukaan bumi. Disebut lapisan ionosfer karena mengalami proses ionisasi yang disebabkan oleh radiasi matahari. Lapisan ionosfer ini memiliki peranan penting dalam sistem komunikasi HF skywave sebagai media pemantul sinyal komunikasi kembali ke bumi.



Gambar 2. 4 Lapisan Ionosfer [4]

Lapisan ini bersifat dinamis karena dipengaruhi oleh perubahan waktu sepanjang hari, perubahan musim selama setahun, perbedaan garis lintang, aktivitas matahari serta perbedaan ketinggian lapisan ionosfer sebagai media pemantul gelombang. Kondisi perubahan pada lapisan ionosfer terhadap perubahan waktu antara siang dan malam dapat dilihat pada Gambar 2.4. Perbedaan derajat ionisasi membagi ionosfer ini menjadi beberapa lapisan. Lapisan Ionosfer ini terdiri dari 3 lapisan yakni lapisan D, E, F.

2.2.1 Lapisan D

Merupakan lapisan paling bawah dalam lapisan ionosfer. Lapisan ini memiliki sifat menyerap gelombang radio pada frekuensi HF. Lapisan D hanya muncul pada siang hari dan akan menghilang pada malam hari[2]. Tingkat ionisasinya adalah sesuai dengan kondisi radiasi matahari, yang mencapai puncaknya pada siang hari. Dan itu berbanding lurus dengan tingkat penyerapannya yang

juga mencapai maksimum di siang hari. Selain itu tingkat penyerapan oleh lapisan D lebih besar saat musim panas dibandingkan pada musim dingin. Serta terdapat juga variasi terhadap derajat garis lintang bumi, dimana penyerapan akan lebih besar di daerah ekuator, dan makin mengecil mendekati daerah kutub. Frekuensi yang lebih rendah akan terserap lebih besar, sehingga sebaiknya menggunakan frekuensi terbesar yang dimungkinkan.

2.2.2 Lapisan E

Lapisan ini adalah lapisan ionosfer pertama yang ditemukan, dimana “E” berarti *electric field*. Tergantung dari level daya pancar dan frekuensi yang digunakan, suatu sinyal dapat direfraksikan kembali ke bumi ataupun diteruskan ke lapisan F. Sehingga dia bukan merupakan lapisan utama yang dimanfaatkan dalam komunikasi High Frequency. Komunikasi HF yang memanfaatkan lapisan E hanya dapat digunakan pada siang hari, karena pada malam hari lapisan ini akan menghilang atau melakukan rekombinasi dengan lapisan lain.

2.2.3 Lapisan F

Pada siang hari, lapisan ini terbagi menjadi 2 yakni lapisan F1 dan F2. Lapisan F1 berada pada ketinggian 140-210 km, sedangkan lapisan F2 berada di ketinggian lebih dari 300 km. Lapisan F2 merupakan lapisan yang paling penting dalam propagasi gelombang HF, karena dia muncul sepanjang hari selama 24 jam, ketinggian lapisan ini juga memungkinkan lajur komunikasi yang paling jauh, serta mampu memantulkan gelombang radio pada range frekuensi tertinggi HF. Sedangkan lapisan F1 tidak selalu muncul, khususnya pada malam hari dimana dia menghilang atau bergabung dengan lapisan lain. Sehingga secara umum tidak diperhitungkan dalam perkiraan mode propagasi gelombang HF. Seringkali komunikasi HF *skywave* dengan menggunakan pantulan lapisan F, adalah merujuk kepada penggunaan lapisan F2.

2.3 Sistem Komunikasi *High Frekuensi* (HF)

Sistem komunikasi HF adalah sistem komunikasi yang menggunakan pita frekuensi 3 – 30 MHz[2]. Sistem komunikasi ini dapat menempuh jarak transmisi yang jauh tanpa memerlukan adanya *repeater*. Hal ini dikarenakan sistem komunikasi ini memanfaatkan pantulan yang diakibatkan oleh ionosfer. Karena tidak memerlukan *repeater* maka sistem komunikasi ini tergolong sistem komunikasi dengan biaya rendah jika dibandingkan dengan sistem komunikasi komersial.

Penggunaan sistem komunikasi HF banyak dijumpai dibidang komunikasi maritim, taktikal militer, penerbangan dan penyiaran radio amatir. Karena penggunaan perangkat yang bersifat independen dan cukup murah maka sistem komunikasi ini juga dapat dijadikan sebagai sistem komunikasi alternatif saat terjadi bencana alam dimana saat terjadi kerusakan infrastruktur telekomunikasi dan sistem komunikasi lainnya tidak dapat digunakan.

Sistem komunikasi HF ini memanfaatkan pantulan ionosfer sehingga kualitas dari sistem komunikasi ini sangat bergantung pada kondisi ionosfer. Lapisan ionosfer ini dipengaruhi oleh radiasi matahari yang menyebabkan terjadinya pemisahan elektron bebas di atmosfer dan struktur ionosfer berubah secara terus menerus khususnya siang dan malam hari[6].

2.4 Kendala pada Sistem Komunikasi HF

Pada sistem komunikasi HF terdapat fenomena dari lapisan ionosfer yang dapat mengganggu kinerja sistem komunikasi tersebut yaitu diantaranya sebagai berikut:

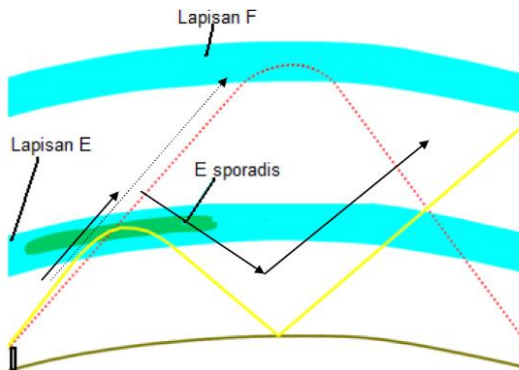
2.4.1 *Equatorial Spread F* (ESF)

Pada saat terbenam matahari di ionosfer daerah khatulistiwa dan lintang rendah, terjadi peningkatan medan listrik dari arah timur sebelum bergerak ke barat. Peningkatan ini menyebabkan terjadinya ketidakaturan pada plasma. Ketidakaturan ini diamati lewat penyebaran jejak di ionogram, yang disebut *spread F*. Hal ini menyebabkan anomali ionisasi pada ekuator, atau disebut *Equatorial Spread F* (ESF). *Spread F* di ekuator yang terjadi pada malam hari menimbulkan sintilasi dan *fading* yang mengganggu

komunikasi radio HF dan satelit [3]. Peningkatan aktivitas matahari meningkatkan pula kejadian ESF, dimana ESF akan terjadi maksimal pada saat *equinox*, sedangkan mencapai minimum pada saat matahari jauh dari ekuator.

2.4.2 Sporadic-E

Lapisan *sporadic-E* merupakan media pantul yang baik bagi sistem komunikasi HF, namun pada lapisan ini terjadi banyak ketidakaturan sehingga belum dapat diketahui karakteristiknya. Salah satu ketidakaturan pada lapisan *ionosfer* yang dapat mengganggu sistem komunikasi HF adalah munculnya *sporadic-E* yang disebabkan karena meningkatnya kerapatan elektron di lapisan E. Gangguan yang disebabkan karena *sporadic-E* ini menyebabkan pengiriman sinyal dari pemancar ke penerima yang seharusnya di pantulkan pada lapisan F, namun karena munculnya *sporadic-E* sangat besar maka sinyal di pantulkan oleh *sporadic-E* sehingga jarak jangkanya berubah sehingga tidak dapat sampai pada penerima. Ilustrasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.5 [12]



Gambar 2. 5 Ilustrasi gangguan dikarenakan sporadic-E [13].

2.4.3 Fading

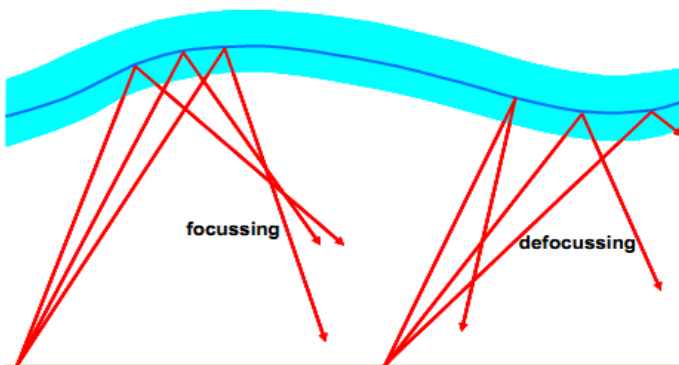
Fading disebabkan oleh interferensi antara dua atau lebih versi dari sinyal yang diterima pada waktu yang sedikit berbeda sehingga level sinyal yang diterima berbeda-beda.

Fading pada sistem komunikasi HF dapat disebabkan oleh *multipath* dimana terjadi penggabungan pada antena penerima untuk memberikan sinyal resultan yang dapat bervariasi dalam amplitudo dan fase, tergantung pada intensitas distribusi, waktu relatif propagasi dari gelombang dan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan.

Fading dalam komunikasi HF dikenal dengan istilah *Travelling Ionosphere Disturbance* (TID) pada Gambar 2.6 mengakibatkan posisi menjadi bergeser sehingga sinyal yang difokuskan akan mengalami hamburan. *Travelling Ionosphere Disturbance* (TID) dapat menyebabkan variasi dalam fase, amplitudo, polarisasi dan sudut kedatangan gelombang radio [2].

Fading mungkin bisa disebabkan oleh keempat penyebab dibawah ini, yaitu: [13]

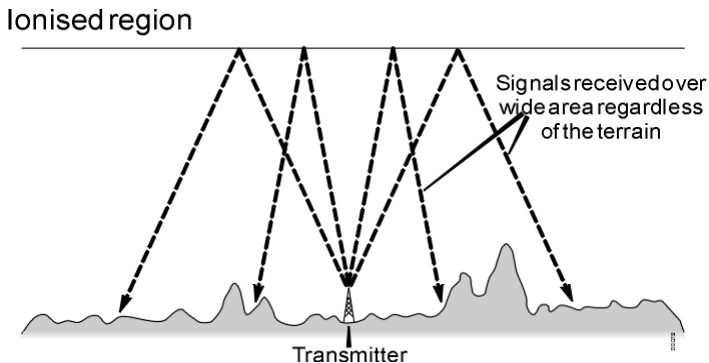
1. Pergerakan dari lapisan *ionosfer* dan perubahan dari panjang lintasan propagasi.
2. Perputaran dari polarisasi gelombang.
3. Variasi absorpsi dari lapisan ionosfer.
4. Menghilangnya sinyal dan ketidak fokusan lintasan yang sampai pada penerima disebabkan karena besarnya penurunan MUF dibawah frekuensi operasinya.



Gambar 2. 6 Ketidakfokusan lintasan disebabkan oleh fading [13].

2.5 Near Vertical Incident Skywave (NVIS)

NVIS (*Near-Vertical Incidence Skywave*) adalah pancaran (sinyal) radio di band HF, yang memancar dengan sudut pancaran (*Take off* atau *Elevation Angle*) yang nyaris tegak lurus (*near vertical*), sehingga sinyal yang dipantulkan lapisan ionosfir jatuh kembali ke area yang berjarak sekitar 0-400 Km dari asal pancaran hal ini terlihat seperti pada Gambar 2.7. NVIS, mengacu pada modus propagasi radio yang melibatkan penggunaan antena dengan sudut radisai yang sangat tinggi, mendekati atau mencapai 90 derajat (lurus ke atas), bersama dengan pemilihan frekuensi yang tepat dibawah frekuensi kritis, untuk membangun komunikasi yang dapat diandalkan atas radius 0-200 mil atau lebih, memberi atau mengambil 100 mil.



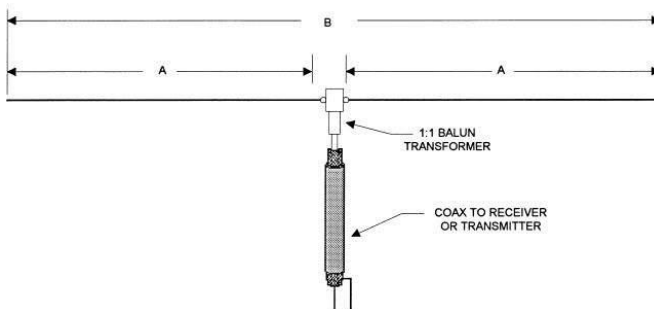
Gambar 2.7 NVIS (*Near Vertical Incident Skywave*).[7]

Biasanya radiasi harus pada sudut yang lebih besar dari 70 atau 80 derajat terhadap *horizontal* sehingga cakupan lokal yang baik dicapai. Biasanya daerah cakupan mungkin memiliki radius antara 35 dan 350 km. Frekuensi harus dipilih dengan hati-hati. Biasanya ini adalah antara sekitar 3 dan 10 MHz[8], meskipun selama periode minimum sunspot, frekuensi maksimum mungkin terbatas pada 6 sampai 7 MHz. Dengan menggunakan frekuensi ini, kerugian dari daerah D dapat diatasi, dan lapisan yang lebih tinggi dari ionosfer masih mampu mencerminkan sinyal sudut tinggi tanpa mereka melewati menembus ionosfer.

Ada dua jenis utama dari propagasi di HF, yang dikenal sebagai "*groundwave*" dan "*skywave*". Propagasi *Groundwave* terjadi ketika stasiun penerima cukup dekat dengan stasiun pemancar, dan mampu menerima porsi sinyal stasiun pemancar ini yang menempel ke tanah. Kisaran propagasi *groundwave* bervariasi dengan jenis antenna di stasiun pemancar, karakteristik tanah antara stasiun pemancar dan stasiun penerima, dan faktor lainnya. Hal ini dapat di mana saja dari beberapa mil, untuk beberapa lusin mil. Jarak di luar jangkauan sinyal *groundwave* ditutupi oleh *skywaves*. *Skywaves* adalah gelombang yang memancar ke atas di beberapa sudut dari antenna, dan (kami berharap) yang tercermin dari *ionosfer*, untuk kembali ke bumi lebih jauh.

2.6 Antena

Antena merupakan salah satu bagian penting dari sistem komunikasi. Antena menjadi sebuah perangkat yang dapat difungsikan sebagai pemancar gelombang radio (*transmitter*) dan juga sebagai penerima gelombang (*receiver*).



Gambar 2.8 Ilustrasi Antena Dipole $\lambda/2$ [1]

Antena *dipole* menjadi salah satu antenna yang biasa digunakan dalam sistem komunikasi HF. Antena dipol ini dapat dibuat dari kawat tembaga yang dipotong sesuai dengan ukuran agar beresonansi pada frekuensi kerja yang diinginkan. Ilustrasi antenna *dipole* dapat dilihat pada Gambar 2.8. Antena *dipole* yang biasanya digunakan untuk komunikasi HF adalah antenna *dipole* setengah panjang gelombang ($\lambda/2$). Nilai panjang gelombang bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.5).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.5)$$

Dimana :

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f = frekuensi gelombang radio dalam satuan Hz

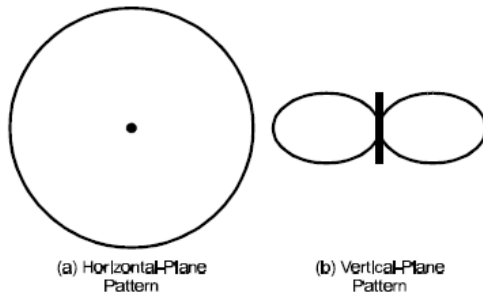
λ = panjang gelombang dalam satuan meter

Sehingga panjang total sebuah antenna *dipole* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6).

$$L = \frac{1}{2} (K \cdot \lambda) \quad (2.6)$$

Dimana K adalah *velocity factor* pada kawat tembaga yang digunakan, biasanya bernilai 0,95.

Antena *dipole* termasuk antenna yang memiliki pola radiasi *omnidirectional* atau mengarah ke segala arah seperti yang terlihat pada Gambar 2.9. Pola radiasi ini cocok untuk diimplementasikan pada sistem komunikasi HF.



Gambar 2.9. Pola Radiasi Antena Dipole[1]

Sebuah antenna terdiri dari 3 daya radius pancar atau daerah medan, yaitu:

1. Daerah medan dekat reaktif

Daerah ini didefinisikan sebagai bagian dari daerah medan dekat disekitar antenna, dimana daerah reaktif lebih dominan. Nilai radius dari daerah ini bisa didapatkan dengan perhitungan menggunakan persamaan 2.7.

$$R = 0,62 \sqrt{\frac{D^2}{\lambda}} \text{ meter} \quad (2.7)$$

2. Daerah medan dekat radiasi

Daerah ini didefinisikan sebagai daerah medan antenna yang terletak antara medan dekat reaktif dengan medan jauh dimana medan radiasi dominan. Distribusi medan tergantung pada jarak daerah medan dari letak antenna. Nilai jarak ini dapat diketahui melalui persamaan (2.8).

$$0,62 \sqrt{\frac{D^2}{\lambda}} \leq R \leq 2 \frac{D^2}{\lambda} \text{ meter} \quad (2.8)$$

3. Daerah medan jauh

Daerah ini merupakan daerah medan antenna yang distribusi medannya tidak bergantung pada jarak dari antenna. Komponen daerah transversal dan distribusi angular tidak bergantung pada jarak radial. Nilai radius dari medan jauh ini dapat dihitung melalui persamaan (2.9).

$$R > 2 \frac{D^2}{\lambda} \text{ meter} \quad (2.9)$$

2.7 Teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO)

Sistem MIMO merupakan penggunaan sistem nirkabel yang memiliki antenna jamak baik di sisi pemancar maupun di sisi penerima[9]. Tidak seperti sistem antenna konvensional yang sangat rentan terhadap multipath, sistem MIMO justru bekerja sangat baik pada komponen multipath. Komponen multipath dieksploitasi guna meningkatkan diversitas dan efisiensi bandwidth (bps/Hz). Semakin banyak objek pemantul/penghambur gelombang radio di lingkungan sekitar antenna justru akan semakin meningkatkan akurasi penerima dengan memilah-milah sinyal informasi dengan korelasi yang rendah dari antenna array di pemancar yang sudah saling tumpang tindih. Dengan demikian skema transmisi ini akan memberikan peningkatan secara linier pada efisiensi spektral.

Penggunaan sistem MIMO diharapkan mampu meningkatkan ketahanan radio link dengan cara memperbesar *Signal to Noise Ratio* (S/N atau SNR) atau kapasitas jalur data transmisi. Kapasitas

sistem (C) MIMO dipengaruhi oleh jumlah antena pemancar (N_T) dan jumlah antena penerima (N_R)[10], sehingga secara umum perhitungan kapasitas MIMO dapat dirumuskan dalam persamaan 2.10 sebagai berikut[14] :

$$C = \log_2 \left[\det \left(I_{N_R} + \frac{1}{N_0} H R_{ss} H^H \right) \right] \quad (2.10)$$

Dimana :

- C = Kapasitas MIMO $N_T \times N_R$
- I = matriks identitas
- R_{ss} = matriks sinyal kovarian
- N_0 = daya noise
- H = matriks kanal MIMO $N_T \times N_R$
- H^H = matriks *transpose conjugate* dari H

Penelitian ini menggunakan konfigurasi MIMO 2 x 2 dengan daya pancar pada pemancar1 = daya pancar pada pemancar2 sehingga rumus perhitungan kapasitas MIMO 2 x 2 seperti pada persamaan 2.11.

$$C = \log_2 \left[\det \left(I + \frac{P_t}{N} H R_{ss} H^H \right) \right] \quad (2.11)$$

Dimana :

- P_t = daya pancar
- N = daya noise
- R_{ss} = matriks sinyal kovarian berupa matriks identitas 2x2, hal ini dikarenakan pemancar1 memiliki frekuensi yang berbeda dengan pemancar2.

Nilai matriks kanal MIMO 2 x 2 dan *transpose conjugate* dari matriks kanal MIMO 2 x 2 dapat dilihat melalui persamaan 2.12 dan persamaan 2.13.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Dimana :

- H = matriks kanal MIMO 2x2

- h_{11} = respon kanal dari TX₁ dan RX₁
- h_{12} = respon kanal dari TX₂ dan RX₁
- h_{21} = respon kanal dari TX₁ dan RX₂
- h_{22} = respon kanal dari TX₂ dan RX₂

$$H^H = \begin{bmatrix} h_{11}^H & h_{21}^H \\ h_{12}^H & h_{22}^H \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Dimana :

- H^H = matriks *transpose conjugate* dari H
- h_{11}^H = *conjugate* dari h_{11}
- h_{12}^H = *conjugate* dari h_{12}
- h_{21}^H = *conjugate* dari h_{21}
- h_{22}^H = *conjugate* dari h_{22}

Untuk mengetahui apakah masing-masing respon kanal tersebut saling berkorelasi atau tidak maka dibutuhkan perhitungan untuk mendapatkan koefisien korelasi. Koefisien korelasi ini akan menunjukkan seberapa besar kanal-kanal tersebut saling berkorelasi. Koefisien korelasi ini disimbolkan dengan simbol ρ . Nilai koefisien korelasi ini berkisar antara 0 hingga 1. Semakin besar nilai koefisien korelasinya maka semakin kuat hubungan antar kanal tersebut dan juga sebaliknya.

Perhitungan koefisien korelasi ini dapat menggunakan persamaan 2.14 sebagai berikut [10]:

$$\rho_k = \text{Corr}_k (Hc_{ji}, Hc_{j'i'}) = \frac{\text{cov}(Hc_{ji}^k, Hc_{j'i'}^k)}{\sqrt{(Hc_{ji}^k)} \cdot \sqrt{(Hc_{j'i'}^k)}} \quad (2.14)$$

Dimana j dan i menunjukkan indeks dari respon kanal yang akan dicari nilai koefisien korelasinya dan nilai k menunjukkan indeks gabungan dari j dan i .

Penelitian ini menggunakan konfigurasi MIMO 2x2 yang akan menghasilkan empat buah respon kanal. Korelasi dari setiap respon kanal ini harus didapatkan untuk mengetahui apakah masing-masing respon kanal saling berkorelasi atau tidak. Sehingga akan

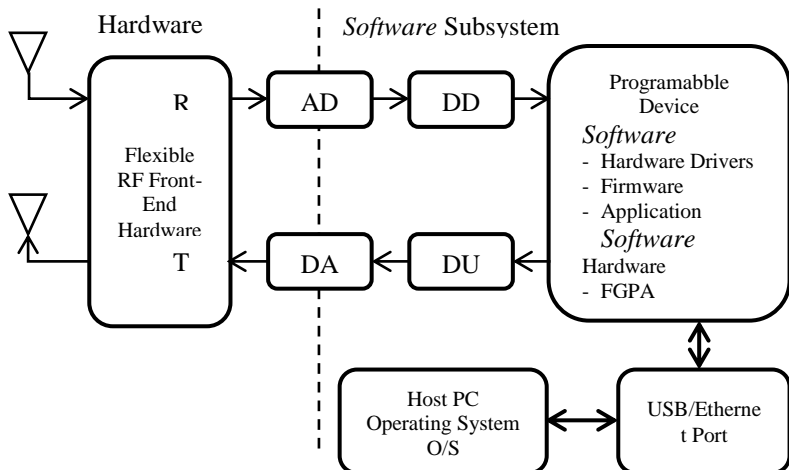
didapatkan enam buah koefisien korelasi yaitu ρ_{1112} , ρ_{1121} , ρ_{1122} , ρ_{1221} , ρ_{1222} , ρ_{2122} .

2.8 Software Defined Radio (SDR)

Software Defined Radio (SDR) merupakan teknologi yang berkembang untuk menerapkan sistem komunikasi radio. Beberapa fungsi modul dalam sistem radio seperti modulasi, pembangkit sinyal, *coding* dan protokol dapat diimplementasikan menggunakan perangkat lunak yang terintegrasi dengan SDR tersebut.

Dalam sistem ini sinyal diproses melalui perangkat lunak dengan menggunakan *Field Programmable Gate Array*, *General Purpose Processor* dan lain lain. Keunggulan dari SDR antara lain adalah:

1. Memiliki sifat fleksibel (*flexibility*)
2. Dapat dikonfigurasi dengan mudah (*easy configuration*)
3. Dapat diprogram ulang (*Reprogrammability*)
4. Memiliki skala (*Scalability*)



Gambar 2.10 Arsitektur SDR [12]

Arsitektur SDR yang terdapat pada gambar 2.10, menempatkan ADC/DAC dekat dengan antenna untuk melakukan konversi analog

ke digital atau digital ke analog. Dalam prakteknya ADC dan DAC tidak cukup cepat untuk memproses sebagian besar spektrum dan antenna yang biasanya dirancang untuk beroperasi di band frekuensi tertentu.

Pendekatan yang lebih realistis ialah menyisipkan *radio frequency* (RF) *Front-End* yang berisi *Up/Down Converter*, sehingga konversi analog ke digital atau sebaliknya dilakukan terhadap sinyal *Intermediate Frequency* (IF) dengan frekuensi yang lebih rendah dibanding sinyal *Radio Frequency* (RF). Pada jalur penerima, setelah ADC terdapat rangkaian *Digital Down Converter* (DDC) yang mengubah frekuensi sinyal digital yang diterima menjadi frekuensi IF sinyal *baseband* kompleks yang berpusat pada frekuensi 0 Hz. Dalam jalur transmisi, proses sebaliknya menggunakan rangkaian *Digital Up Converter* (DUC). Perangkat SDR diprogram melalui *firmware* dan *driver hardware* yang dapat dimuat dan diperbaharui bila terkoneksi dengan host PC.

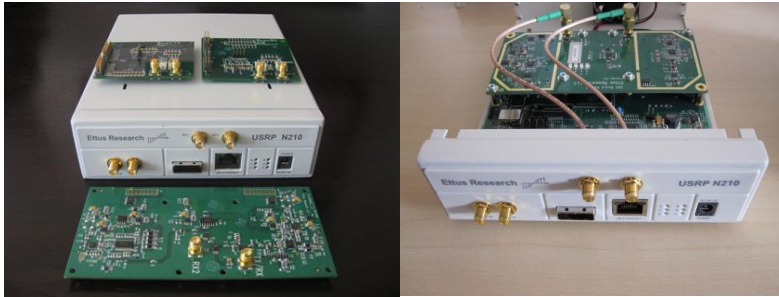
Universal Software Radio Peripheral (USRP) merupakan salah satu contoh perangkat SDR. USRP merupakan jenis SDR dari *National Instrument* (NI) dan memiliki jenis yang beragam. Ada jenis USRP yang memiliki frekuensi kerja dibatasi, ada pula yang dapat ditentukan sendiri oleh admin dengan menggunakan *board* tambahan yaitu *daughterboard*. USRP merupakan perangkat yang dikontrol oleh software LabVIEW untuk pemrosesan sinyal.

2.9 Universal Software Radio Peripheral (USRP)

USRP merupakan perangkat front end dalam arsitektur SDR yang banyak digunakan oleh peneliti SDR dari kelompok GNU Radio. Simulasi yang merupakan produk dari Ettus Research dengan jenis USRP N210. Di dalam perangkat USRP N210 terdapat sistem ADC dan DAC, sehingga tidak diperlukan lagi hardware ADC/DAC. Selain itu, di dalam USRP N210 juga terdapat RF *Front-End* atau *daughterboard* yang berfungsi sebagai pemancar atau penerima, *chip* FPGA yang melakukan beberapa proses sebelum pengolahan sinyal input berbasis komputasi, serta koneksi dengan *host* PC menggunakan kabel *Gigabit Ethernet*.

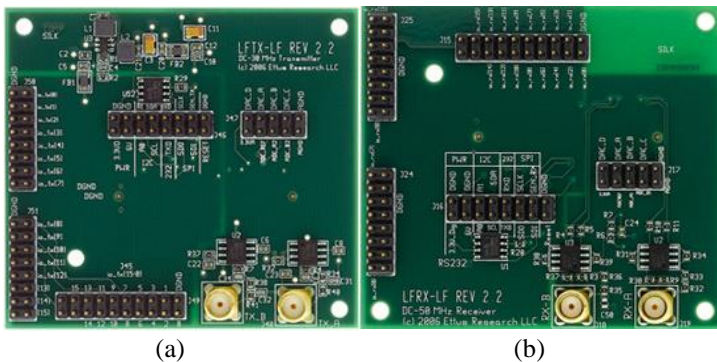
Gambar 2.11 merupakan USRP tipe N210 yang digunakan untuk proses pengukuran baik pada sistem *transmitter*, *receiver*,

maupun akusisi data yang terdiri dari motherboard N210 dan *daughterboard*.



Gambar 2.11 USRP Tipe N210

Terdapat beberapa macam *daughterboard* yang dapat digunakan pada USRP N210 yaitu *daughterboard* LFTX/RX dan SBX. Masing – masing jenis *daughterboard* ini memiliki frekuensi kerjanya masing – masing. *Daughterboard* LFTX/RX bekerja pada frekuensi 0 – 30 MHz dan SBX bekerja pada frekuensi 400 – 4400 MHz. Sistem komunikasi pada penelitian ini menggunakan frekuensi 7 MHz sehingga menggunakan *daughterboard* jenis LFTX/RX yang memiliki cakupan frekuensi radio sebesar 0-30 MHz. Gambar 2.12 menunjukkan penampakan masing-masing LFTX dan LFRX *daughterboard* yang akan diintegrasikan dengan USRP N210.



Gambar 2.12 *Daughterboard* (a) LFTX dan (b) LFRX

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 3

PERANCANGAN SISTEM

Secara garis besar perancangan sistem pada penelitian tugas akhir ini terdiri dari dua subsistem yaitu subsistem pemancar (*transmitter*) dan subsistem penerima (*receiver*). Subsistem pemancar dirancang agar dapat mengirimkan sinyal sinusoidal berupa tone dengan nilai tone frekuensi yang digunakan adalah 0 Hz. Sedangkan subsistem penerima dirancang agar dapat menerima sinyal sinusoidal.

3.1 Perancangan Sistem

3.1.1 Subsistem Pemancar

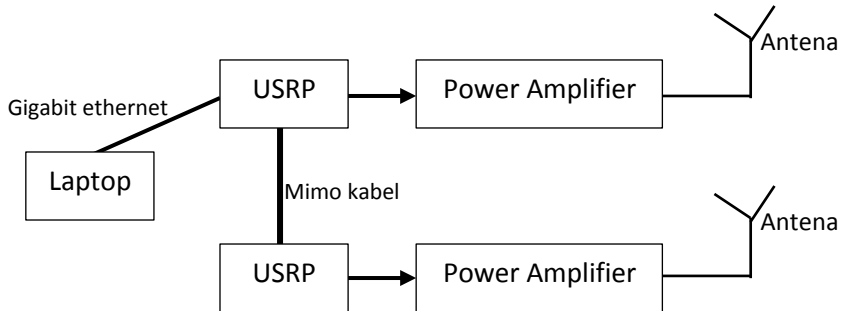
Subsistem pemancar dirancang agar dapat mengirimkan sinyal sinusoidal berupa sinyal tone dan tone frekuensi yang digunakan sebesar 0 Hz. Terdapat beberapa peralatan yang dibutuhkan dalam pembuatan subsistem pemancar ini, antara lain antenna, kabel koaksial RG 8, Laptop, USRP, GPS, octoclock dan power amplifier.

Pembuatan subsistem pemancar ini diawali dengan pembuatan subsistem pada *software* Labview Communication 1.1 untuk membangkitkan sinyal tone. Subsistem ini terdiri dari dua buah *transmitter* dimana setiap *transmitter* terdiri dari satu buah antenna, satu buah USRP dan satu buah power amplifier. USRP channel 1 dihubungkan dengan USRP channel 2 menggunakan MIMO kabel. Lalu salah satu USRP tersebut dihubungkan dengan laptop melalui kabel *gigabit ethernet*.

Pada *software* Labview Communication 1.1 USRP channel 1 menggunakan konfigurasi sinkronisasi MIMO sedangkan USRP channel 2 menggunakan konfigurasi sinkronisasi Refin dan Ppsin. Selanjutnya pada USRP channel 2 port Refin dan Ppsin dihubungkan ke port clockout dan Ppsout di octoclock.

Selanjutnya port RF pada masing – masing USRP dihubungkan dengan power amplifier. Keluaran dari USRP ini sudah berupa sinyal *passband*. Selanjutnya keluaran dari masing-masing power amplifier ini dihubungkan dengan antenna 1 dan antenna 2 melalui kabel koaksial RG8. Blok

diagram subsistem pemancar dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Blok Diagram Pemancar Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS

3.1.2 Subsistem Penerima

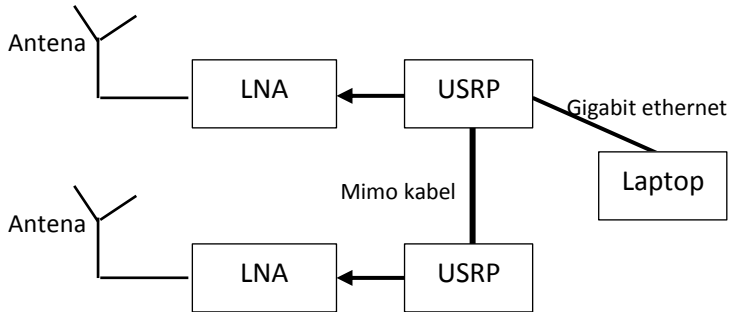
Subsistem penerima dirancang agar dapat menerima sinyal tone. Terdapat beberapa peralatan yang dibutuhkan dalam pembuatan subsistem pemancar ini, antara lain antena, kabel koaksial RG 58, Laptop, USRP, GPS, octoclock, LNA dan spektrum analyzer.

Pembuatan subsistem penerima ini diawali dengan pembuatan subsistem pada *software* Labview Communication 1.1 untuk menerima sinyal tone. Subsistem ini terdiri dari dua buah *receiver* dimana setiap *receiver* terdiri dari satu buah antena, satu buah USRP dan satu buah LNA. USRP channel 0 dihubungkan dengan USRP channel 1 menggunakan MIMO kabel. Lalu salah satu USRP tersebut dihubungkan dengan laptop melalui kabel *gigabit ethernet*.

Pada *software* Labview Communication 1.1 USRP channel 1 menggunakan konfigurasi sinkronisasi MIMO sedangkan USRP channel 2 menggunakan konfigurasi sinkronisasi Refin dan Ppsin. Selanjutnya pada USRP channel 2 port Refin dan Ppsin dihubungkan ke port clockout dan Ppsout di octoclock.

Selanjutnya port RF pada masing – masing USRP dihubungkan dengan LNA. Sinyal yang diterima oleh USRP ini sudah berupa sinyal *baseband*. Selanjutnya keluaran dari masing-masing LNA ini dihubungkan dengan antena 1 dan

antena 2 melalui kabel koaksial RG58. Blok diagram subsistem penerima dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok Diagram Penerima Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS

3.2 Parameter Sistem Komunikasi

Perancangan simulasi dan implementasi sistem komunikasi HF MIMO NVIS meliputi penentuan parameter – parameter yang diperlukan. Parameter tersebut meliputi frekuensi kerja dan spesifikasi perangkat yang akan digunakan.

3.2.1 Pemilihan Frekuensi Kerja

Berdasarkan Keputusan Ketua Umum Organisasi Amatir Radio Indonesia Nomor : KEP-065/OP/KU/2009 tentang Pembagian dan Penggunaan Segmen Band Frekuensi Amatir Radio (BAND PLAN) maka penelitian tugas akhir ini menggunakan frekuensi 7.0225 MHz untuk *transmitter* channel 1 dan frekuensi 7.0825 untuk *transmitter* channel 2. Sedangkan pada *receiver* digunakan frekuensi 7 MHz baik untuk *receiver* channel 1 dan channel 2.

3.2.2 Spesifikasi Perangkat Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS

Sebelum menjalankan simulasi dan implementasi sistem komunikasi HF MIMO NVIS maka sebaiknya mengetahui spesifikasi semua perangkat yang akan digunakan baik berupa perangkat keras maupun perangkat lunak. Perangkat yang

akan digunakan dalam sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini adalah:

1. Antena

Antena berfungsi untuk mengubah arus listrik frekuensi radio menjadi gelombang elektromagnetik. Antena yang digunakan untuk sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini adalah antena *dipole* setengah panjang gelombang ($\lambda/2$). Antena *dipole* $\lambda/2$ ini dibuat dengan menggunakan kabel monster dengan total panjang ± 20 meter. Antena ini menggunakan balun Diamond BU-50 dengan impedansi sebesar 50Ω dan perbandingan transfer daya 1:1 yang artinya daya input balun sama dengan daya output balun. Antena ini memiliki $VSWR < 2$ pada frekuensi 7 MHz dan *bandwidth* antena sebesar ± 200 kHz. Antena ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Ilustrasi Antena *Dipole* $\lambda/2$ dengan Balun Diamond BU-50

2. *Universal Software Radio Peripheral* (USRP)

USRP adalah salah satu perangkat keras SDR yang akan digunakan dalam sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini. Simulasi dan implementasi sistem komunikasi ini menggunakan SDR produk dari Ettus Research dengan jenis USRP N210. Dalam USRP N210 terdapat ADC/DAC, RF Front-End atau

daughterboard yang berfungsi sebagai pemancar atau penerima, *chip* FPGA yang melakukan beberapa proses sebelum pengolahan sinyal input berbasis komputasi, serta koneksi dengan *host* laptop menggunakan kabel *Gigabit Ethernet*. USRP N210 dapat ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



Gambar 3.4. USRP N210

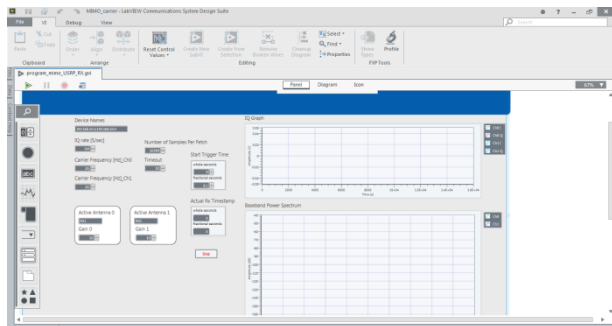
Dalam menjalankan fungsinya USRP N210 membutuhkan sebuah *embedded system* yang dikenal dengan istilah *daughterboard*. *Daughterboard* ini memiliki fungsi agar USRP yang akan digunakan dapat berjalan pada frekuensi yang diinginkan. Sistem komunikasi HF bekerja pada frekuensi 3-30 MHz sehingga *daughterboard* yang cocok adalah LFRX untuk *transmitter* dan LFRX untuk *receiver*. Gambar 3.5 menunjukkan *daughterboard* yang akan diintegrasikan dengan USRP N210.



Gambar 3.5 Daughterboard LFRX dan LFTX

3. Labview Communication 1.1

Labview Communication 1.1 atau Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench adalah perangkat lunak dengan bahasa pemrograman berbasis grafis dan blok diagram yang digunakan untuk menjalankan USRP. Di dalam Labview terdapat program yang tersusun dari blok diagram suatu sistem komunikasi agar dapat terhubung ke perangkat USRP. Gambar 3.6 menunjukkan tampilan pengaturan parameter pada penggunaan Labview Communication 1.1.



Gambar 3.6 Tampilan Labview Communication

4. Low Noise Amplifier (LNA)

LNA merupakan perangkat keras yang berfungsi untuk menguatkan sinyal pada sisi penerima. LNA yang digunakan pada sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini adalah LNA ZFL-1000LN produk dari mini circuit seperti yang terlihat pada Gambar 3.7. LNA ini dapat bekerja pada frekuensi 0,1 hingga 1000 MHz dan memiliki penguatan sebesar 20 dB.



Gambar 3.7 LNA ZFL-1000LN

5. Personal Computer

Personal Computer (PC) atau dapat berupa laptop yang digunakan pada sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini harus memiliki port *gigabit ethernet*. Hal ini dikarenakan USRP hanya dapat terhubung ke PC/laptop menggunakan *gigabit ethernet*.

6. Gigabit Ethernet

Gigabit ethernet memiliki fungsi sebagai penghubung antara PC/Laptop dengan USRP. Proses integrasi antara PC/laptop dengan USRP menggunakan *default IPaddress* pada USRP. Sedangkan *IP address* untuk PC harus di set dengan subnet mask yang sama atau dalam satu jaringan agar kedua perangkat dapat saling terhubung.

7. Kabel Koaksial

Kabel koaksial adalah kabel yang digunakan sebagai media transmisi yang menghubungkan antena pemancar dengan sistem pemancar dan antena penerima dengan sistem penerima. Pada sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini digunakan kabel koaksial RG8 produksi BELDEN pada sisi pemancar dan kabel koaksial RG58 produksi BELDEN pada sisi penerima.

3.3 Pembuatan Sistem

Setelah melakukan perancangan sistem maka tahap selanjutnya adalah melakukan pembuatan sistem komunikasi HF MIMO NVIS. Pembuatan sistem komunikasi HF MIMO NVIS ini meliputi pembuatan antena *dipole* $\lambda/2$, pembuatan program *transmitter*, pembuatan program *receiver* dan pembuatan program pengolahan data.

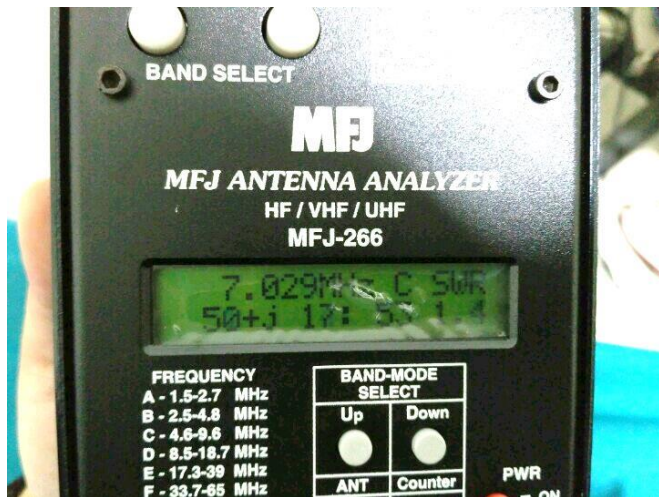
3.3.1 Pembuatan Antena Dipole $\lambda/2$

Antena yang digunakan dalam sistem komunikasi antena *dipole* horisontal $\lambda/2$. Antena ini dibuat dengan menggunakan kabel monster sepanjang setengah gelombang. Karena frekuensi yang digunakan adalah 7 MHz maka nilai dari setengah gelombangnya adalah ± 21.43 meter. Sehingga panjang kawat pada masing-masing sisi antena *dipole* adalah seperempat panjang gelombang atau sekitar ± 10.7 meter. Masing – masing kabel monster seperempat panjang gelombang ini dihubungkan dengan balun Diamond BU-50 dan disolder sedangkan sisi satunya dihubungkan dengan isolator. Hasil perakitan antena ini dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Perakitan Antena *Dipole* $\lambda/2$

Setelah merakitnya maka langkah selanjutnya adalah mengukur nilai VSWR dari antenna ini. Nilai VSWR yang diinginkan adalah kurang dari 2 pada frekuensi 7 MHz. Pengukuran nilai VSWR ini dapat menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) atau MFJ. Proses ini diulang hingga menghasilkan empat buah antenna. Nilai hasil pengukuran VSWR dari salah satu antenna yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.9.



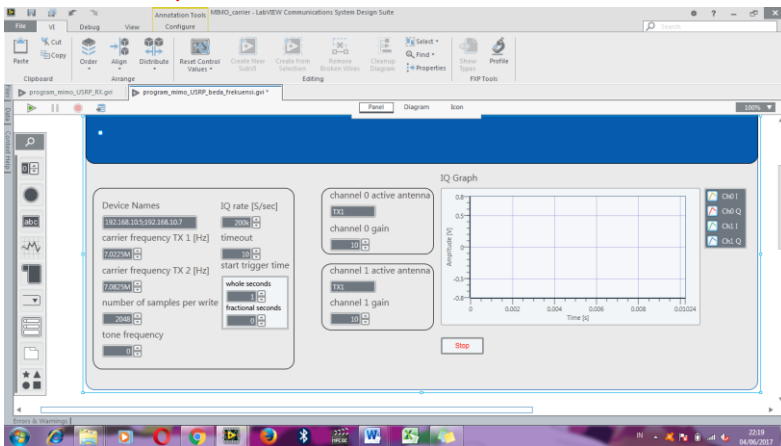
Gambar 3.9 Hasil Pengukuran VSWR Antena *Dipole* Horisontal $\lambda/2$

3.3.2 Pembuatan Program Pemancar

Pembuatan program pemancar ini menggunakan *software* Labview Communication 1.1. Program pemancar yang diinginkan adalah program yang dapat membangkitkan sinyal sinusoidal dengan tone frekuensi pada 0 Hz. Ada dua frekuensi yang digunakan pada pemancar yaitu 7.0225 MHz dan 7.0825 MHz. Pemilihan frekuensi ini dengan mempertimbangkan kondisi kanal frekuensi yang jarang digunakan oleh para pengguna radio amatir. Setelah sinyal dibangkitkan langkah selanjutnya

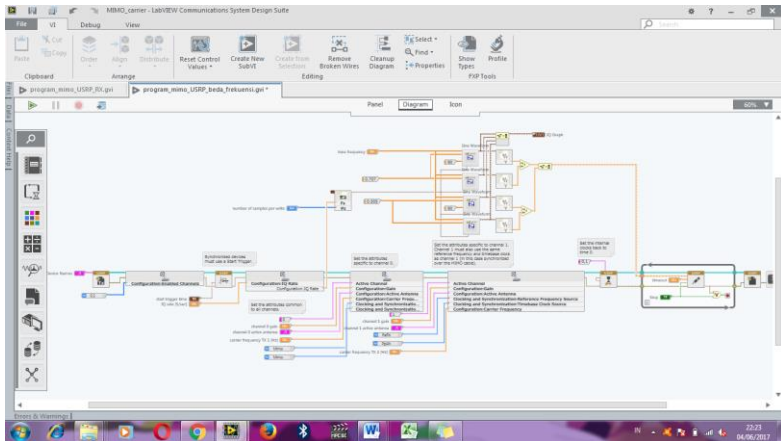
adalah melakukan upconverting sehingga sinyal terbangkit memiliki frekuensi seperti frekuensi carier nya.

Labview Communication 1.1 memiliki dua buah menu window dalam membuat program. Window pertama bernama Panel dimana berisi seperti GUI atau *user interface* yang memudahkan pengguna untuk memasukkan parameter pengukuran yang diinginkan. Panel untuk program *transmitter* dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Panel Labview *Transmitter*

Sedangkan window kedua bernama Diagram. Diagram menunjukkan blok sistem program yang dibuat. Penambahan atau pengurangan blok sistem dapat dilakukan pada window Diagram. Diagram untuk program *transmitter* dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Diagram Labview *Transmitter*

Parameter yang digunakan pada program *transmitter* ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Pada Sisi Pemancar

Parameter	Nilai
Frekuensi TX 1	7.0225 MHz
Frekuensi TX 2	7.0825 MHz
Tone Frekuensi	0 Hz
IQ Rate	200k Sampel/detik

3.3.3 Pembuatan Program Penerima

Pembuatan program penerima ini menggunakan *software* Labview Communication 1.1. Program pemancar yang diinginkan adalah program yang dapat menerima sinyal sinusoidal. Hanya ada satu frekuensi yang digunakan pada penerima yaitu 7 MHz. Sehingga program ini dapat menerima semua sinyal yang dipancarkan oleh *transmitter* baik pada frekuensi 7.0225 MHz maupun pada frekuensi 7.0825 MHz.

Labview Communication 1.1 memiliki dua buah menu window dalam membuat program. Window pertama bernama Panel dimana berisi seperti GUI atau *user interface* yang memudahkan pengguna untuk memasukkan parameter

Gambar 3.12 Panel Labview *Receiver*

[illegible]

Gambar 3.13 Diagram Labview *Receiver*

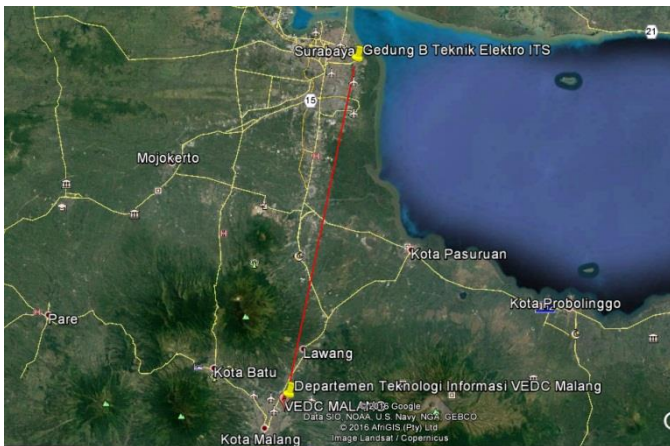
Parameter yang digunakan pada program *receiver* ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Pada Sisi Penerima

Parameter	Nilai
Frekuensi RX 1	7 MHz
Frekuensi RX 2	7 MHz
IQ Rate	200k Sampel/detik
Numbet of Sample per Fetch	16000 Sampel

3.4 Implementasi Sistem

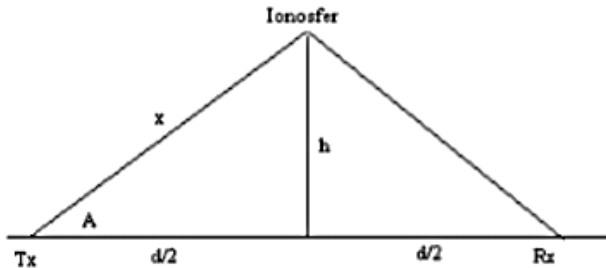
Setelah berhasil dalam pembuatan sistem maka tahap selanjutnya adalah mengimplementasikan sistem komunikasi HF MIMO NVIS. Implementasi ini dilakukan baik di sisi pemancar maupun pada sisi penerima. Pemancar terletak di Laboratorium Antena dan Propagasi Gedung B Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya dengan koordinat $7^{\circ}17'5.81''\text{LS}$ dan $112^{\circ}47'46.68''\text{BT}$. Sedangkan receiver diletakkan di Kota Malang tepatnya di Gedung Departemen Teknologi Informasi PPPPTK VEDC Arjosari Malang dengan koordinat $7^{\circ}56'4.42''\text{LS}$ dan $112^{\circ}39'46.73''\text{BT}$. Ilustrasi lintasan Surabaya-Malang dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Ilustrasi Lintasan Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS

3.4.1 Perhitungan Sudut Elevasi Pada Implementasi Sistem

Perhitungan sudut elevasi ini untuk memastikan apakah implementasi sistem ini sudah memenuhi sudut elevasi untuk NVIS atau tidak. Perhitungan sudut elevasi ini dapat dihitung dengan rumus segitiga dengan menganggap permukaan bumi dan ionosfer datar[13]. Hal ini dapat diilustrasikan seperti pada gambar 3.15. Dimana A adalah sudut elevasi, h adalah ketinggian virtual lapisan ionosfer dan d adalah jarak antara pemancar dan penerima.



Gambar 3.15 Ilustrasi Sederhana Geometri Perambatan Gelombang Radio

Propagasi HF NVIS diasumsikan terjadi pada lapisan F sehingga nilai dari h diasumsikan bernilai 300 km. Jarak antara pemancar dan penerima adalah jarak propagasi antara Surabaya dan Malang sehingga d memiliki nilai sebesar 73 km maka nilai dari $d/2$ adalah 36,5 km. Sudut A bisa didapatkan dengan cara menggunakan persamaan 3.1.

$$A = \tan^{-1} \left(\frac{h}{d/2} \right) \quad (3.1)$$

$$A = \tan^{-1} \left(\frac{300}{36,5} \right)$$

$$A = 83.06^\circ$$

Sehingga berdasarkan perhitungan persamaan 3.1 didapatkan bahwa nilai sudut elevasi implementasi sistem ini adalah 83.06° . Berdasarkan tinjauan pustaka yang ada bahwa sudut elevasi pada komunikasi HF NVIS adalah antara 70° - 90° [8] sedangkan implementasi sistem ini memiliki sudut elevasi sebesar 83.06°

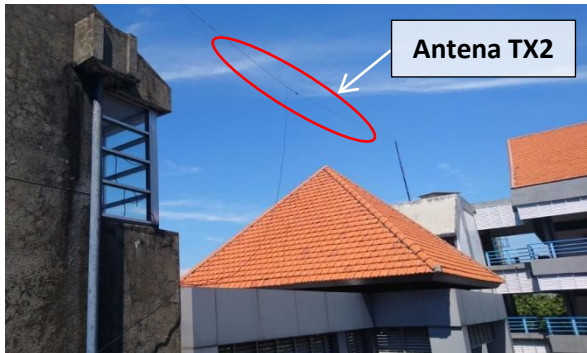
maka implementasi sistem ini sudah memenuhi sudut elevasi pada komunikasi HF NVIS.

3.4.2 Implementasi Pada Sisi Pemancar

Pada lokasi *transmitter*, antena pemancar dipasang di atas atap Gedung B Departemen Teknik Elektro dan di atas atap jembatan yang menghubungkan Gedung B dan Gedung AJ Departemen Teknik Elektro. Ketinggian antena pemancar ini ± 12 meter dari atas permukaan tanah. Pemasangan antena ini dapat dilihat pada Gambar 3.16.



(a)



(b)

Gambar 3.16 Pemasangan Antena Pemancar (a) Antena TX1 dan (b) Antena TX2

Terdapat beberapa peralatan yang harus diimplementasikan pada sisi pemancar antara lain sebuah laptop/PC, dua buah USRP, dua buah *power amplifier*, sebuah MIMO kabel, sebuah *octoclock* dan dua buah kabel koaksial RG8. Dua buah USRP saling dihubungkan dengan menggunakan MIMO kabel. USRP channel 0 akan dihubungkan ke PC/laptop menggunakan *gigabit ethernet*. Port Ref-in dan Ppsin pada USRP channel 1 dihubungkan dengan port clock out dan Ppsout pada *octoclock* dengan menggunakan kabel port SMA. Port RF1 pada masing – masing USRP dihubungkan dengan port *input* pada *power amplifier* 1 dan 2. Port *output* pada *power amplifier* dihubungkan ke antena 1 dan antena 2 masing-masing menggunakan kabel koaksial RG-8 sepanjang 30 meter. Konfigurasi peralatan sisi pemancar ini dapat dilihat pada Gambar 3.17. Parameter implementasi sistem pemancar dapat dilihat pada Tabel 3.3.



Gambar 3.17 Konfigurasi Sisi Pemancar

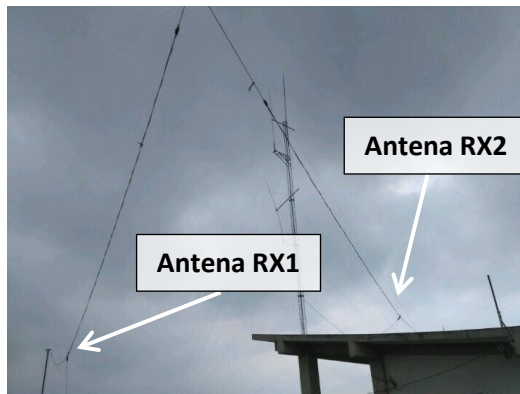
Tabel 3.3 Parameter Implementasi Sistem Pemancar

Parameter	Nilai
Frekuensi TX1	7.0225 MHz
Frekuensi TX2	7.0825 MHz
VSWR Antena 1	1.57
VSWR Antena 2	1.7

Daya Pancar TX1	20 Watt
Daya Pancar TX2	20 Watt

3.4.3 Implementasi Pada Sisi Penerima

Pada lokasi *receiver*, antena penerima dipasang di atas Gedung Departemen Teknologi Informasi VEDC Arjosari Malang. Ketinggian antena penerima ini ± 16 meter dari atas permukaan tanah. Pemasangan antena dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Pemasangan Antena Penerima

Terdapat beberapa peralatan yang harus diimplementasikan pada sisi pemancar antara lain sebuah laptop/PC, dua buah USRP, dua buah LNA, sebuah MIMO kabel, sebuah *octoclock* dan dua buah kabel koaksial RG58. Dua buah USRP saling dihubungkan dengan menggunakan MIMO kabel. USRP channel 0 akan dihubungkan ke PC/laptop menggunakan *gigabit ethernet*. Port Ref-in dan Ppsin pada USRP channel 1 dihubungkan dengan port clock out dan Ppsout pada *octoclock* dengan menggunakan kabel port SMA. Port RF1 pada masing – masing USRP dihubungkan dengan port *input* pada LNA 1 dan 2. Port *output* pada LNA dihubungkan ke antena 1 dan antena 2 masing-masing menggunakan kabel koaksial RG-58 sepanjang 20 meter. Konfigurasi peralatan sisi penerima ini dapat dilihat pada Gambar 3.19. Parameter implementasi sistem pemancar dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter Implementasi Sistem Penerima

Parameter	Nilai
Frekuensi RX1	7 MHz
Frekuensi RX2	7 MHz
VSWR Antena 1	1.6
VSWR Antena 2	1.4



Gambar 3.19 Konfigurasi Sisi Penerima

3.5 Skenario Pengambilan Data dan Lokasi Pengukuran

Data didapatkan dengan cara melakukan pengukuran. Pengukuran ini diawali dengan mengimplementasikan sistem komunikasi HF MIMO NVIS yang telah disimulasikan sebelumnya. Pengukuran dilakukan pada *link* komunikasi Surabaya-Malang. Jarak lintasan *line of sight* Surabaya-Malang sebesar ± 73 km.

Transmitter diletakkan di Kota Surabaya tepatnya di Laboratorium Antena dan Propagasi Gedung B Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan koordinat $7^{\circ}17'5.81''\text{LS}$ dan $112^{\circ}47'46.68''\text{BT}$. Sedangkan

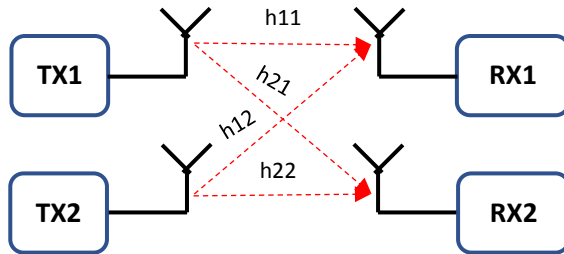
receiver diletakkan di Kota Malang tepatnya di Gedung Departemen Teknologi Informasi PPPPTK VEDC Arjosari Malang dengan koordinat 7°56'4.42"LS dan 112°39'46.73"BT.

Tahap pengukuran diawali dengan implementasi sistem komunikasi HF MIMO NVIS pada lokasi *transmitter* dan *receiver*. Pengukuran dilaksanakan pada tanggal 20 hingga 21 Juni 2017 pada pukul 07.00 hingga 17.00 WIB. Pengiriman dilakukan setiap 15 menit dengan rincian 5 menit pemancaran dan 10 menit penyimpanan data.

Terdapat beberapa prosedur yang perlu diperhatikan oleh *transmitter* dan *receiver* saat melakukan pengukuran, antara lain:

1. Membuat susunan jadwal pengukuran selama rentang waktu yang telah ditentukan.
2. Persiapan dan konfigurasi perangkat pada sistem pemancar di Laboratorium Antena dan Propagasi Gedung B Departemen Teknik Elektro ITS Surabaya
3. Persiapan dan konfigurasi perangkat pada sistem penerima di Gedung Departemen Teknologi Informasi PPPPTK VEDC Arjosari Malang.
4. Sinkronisasi waktu antara Surabaya dan Malang dengan menggunakan GPS dan *octoclock* pada USRP channel 1 di masing-masing sistem pengirim dan penerima. Sehingga waktu kirim dan waktu terima tidak mengalami perbedaan. Pastikan bahwa indikator GPS lock sudah nyala sebelum melakukan pengiriman atau penerimaan data.
5. Persiapan penyimpanan folder khusus untuk data hasil pengukuran.
6. USRP channel 1 di masing-masing pengirim dan penerima dihubungkan ke laptop melalui *gigabit ethernet interface*.
7. USRP channel 2 dihubungkan dengan USRP channel 1 melalui MIMO *cable*.
8. Port Refin dan Ppsin pada USRP channel 2 dihubungkan dengan port clock out dan Ppsout pada octoclock.
9. Pengirim akan mengirimkan sinyal setiap 15 menit sekali dengan setiap pengiriman selama 5 menit.
10. Penerima akan mengambil data selama 15 menit pada setiap percobaan dengan rincian 5 menit mengambil data dan 10 menit menyimpan data. Setiap percobaan akan dilakukan pengambilan sebanyak ± 5 kali.

11. Data yang dikeluarkan oleh pemancar berupa data IQ.
12. Data yang diterima oleh penerima adalah data mentah berupa *baseband power spectrum* dan data IQ.
13. Data yang akan digunakan untuk pengolahan data adalah data IQ.
14. Proses pengolahan data diawali dengan melakukan proses FFT (*fast fourier transform*) terhadap data IQ sehingga akan menghasilkan baseband channel.
15. Selanjutnya dilakukan proses *filtering* menggunakan teknik windowing. Hasil filter ini berupa empat respon kanal seperti yang terlihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Respon Kanal MIMO 2x2

16. Langkah selanjutnya melakukan perhitungan koefisien korelasi antar kanal sehingga akan menghasilkan enam buah koefisien korelasi.
17. Selanjutnya adalah mencari nilai kapasitas MIMO dan SISO dari nilai respon kanal yang didapatkan pada langkah 15.

BAB 4

ANALISA DATA

4.1 Hasil Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan mengambil data dari sinyal yang diterima oleh antena penerima. Sinyal ini akan melewati LNA untuk dikuatkan lalu akan masuk ke dalam USRP yang sudah dihubungkan dengan laptop/PC melalui *gigabit ethernet*. Data yang diterima oleh USRP ini sudah berupa data IQ. Data IQ ini bisa didapatkan dengan cara melakukan *capture data* pada IQ Graph pada program *receiver*.

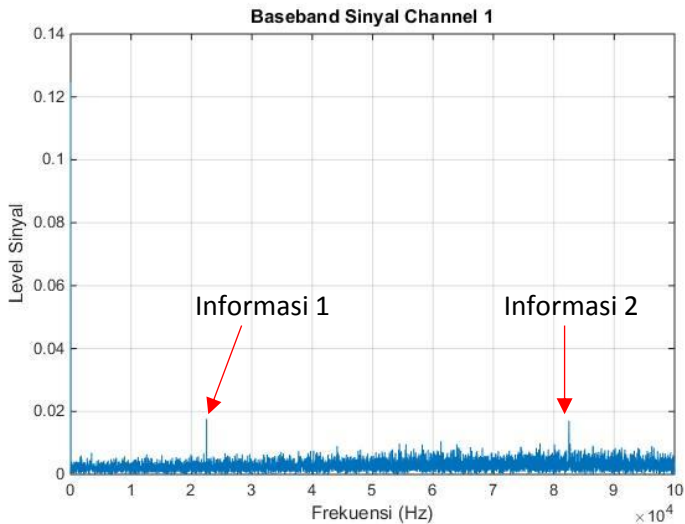
Data IQ ini kemudian akan diolah menggunakan *software* Matlab lalu akan dianalisis nilai korelasi dan kapasitasnya. Pengukuran ini dilakukan selama dua hari pada tanggal 20 Juni 2017 dan 21 Juni 2017. Waktu pengukuran dimulai pada pukul 07.00 WIB hingga pukul 17.00 WIB pada setiap harinya. Data-data yang terekam akan dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu pagi hari, siang hari dan sore hari. Pagi hari berisikan data yang terukur pada pukul 07.00 WIB hingga pukul 10.00 WIB. Siang hari berisikan data yang terukur pada pukul 10.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB. Sedangkan sore hari berisikan data yang terukur pada pukul 15.00 WIB hingga pukul 17.00 WIB. Data-data ini akan diolah untuk menghasilkan empat buah respon kanal. Nilai-nilai ini akan digunakan untuk menghitung koefisien korelasi kanal dan kapasitas HF MIMO NVIS.

4.1.1 Pengolahan Data Terekam

Pada *receiver* terdapat dua buah antena penerima sehingga akan ada dua buah data power spektrum baseband. Data IQ yang telah direkam lalu diolah oleh program Matlab dan selanjutnya akan dilakukan proses *fast fourier transform* untuk mendapatkan baseband sinyal. Setelah dilakukan proses ini maka hasilnya lalu di-*plot* ke dalam sebuah grafik. Hasil dari proses ini dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.

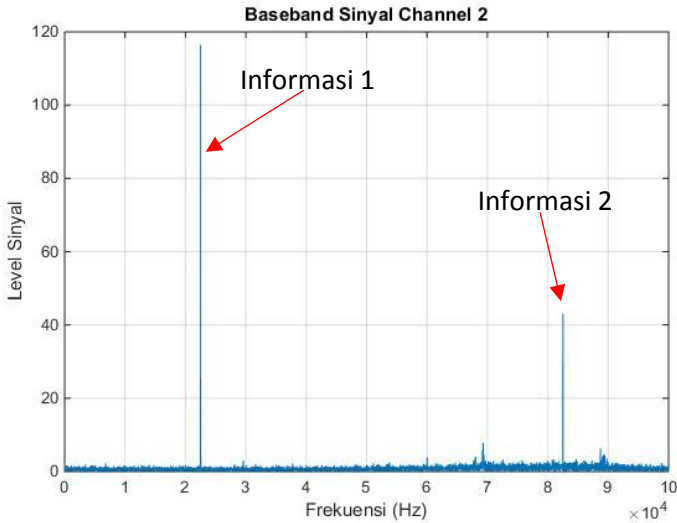
Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 adalah salah satu contoh hasil pengolahan data terekam yang menunjukkan baseband power spektrum channel 1 dan channel 2 pada waktu pengukuran tanggal 21 Juni 2017 pukul 10.41 WIB hingga pukul 10.52 WIB. Frekuensi lokal osilator yang digunakan pada setiap sisi penerima adalah frekuensi 7 MHz sedangkan frekuensi lokal

osilator yang digunakan pada sisi pemancar 1 adalah 7.0225 MHz dan pada sisi pemancar 2 adalah 7.0825 MHz. Sehingga jika data IQ penerima diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik *baseband* sinyal maka penerima 1 akan menerima informasi dari pemancar 1 yang nilainya bergeser sejauh 22500 Hz dan informasi dari pemancar 2 yang nilainya bergeser sejauh 82500 Hz. Sedangkan penerima 2 juga akan menerima informasi dari pemancar 1 yang nilainya bergeser sejauh 22500 Hz dan informasi dari pemancar 2 yang nilainya bergeser sejauh 82500 Hz.



Gambar 4.1 Baseband Power Spektrum pada Channel 1

Pada Gambar 4.1 menunjukkan salah satu data pengukuran dimana terdapat sinyal pada frekuensi 22500 Hz dan juga pada frekuensi 82500 Hz. Hal itu menunjukkan bahwa channel 1 ini menerima sinyal yang berasal dari pemancar 1 dan sinyal yang berasal dari pemancar 2.



Gambar 4.2 Baseband Power Spektrum pada Channel 2

Pada Gambar 4.2 menunjukkan salah satu data pengukuran dimana terdapat sinyal pada frekuensi 22500 Hz dan juga pada frekuensi 82500 Hz. Hal itu menunjukkan bahwa channel 1 menerima sinyal yang berasal dari pemancar 1 dan sinyal yang berasal dari pemancar 2.

4.2 Pengolahan Data

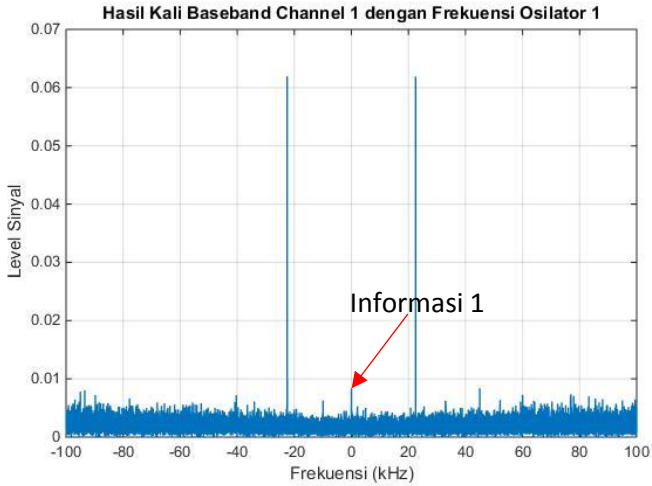
4.2.1. Perkalian Sinyal Diterima dengan Frekuensi Lokal Osilator

Setelah mengetahui bahwa data IQ yang diterima memuat informasi yang dikirim maka selanjutnya adalah menggeser sinyal informasi agar berada pada frekuensi 0 Hz. Penggeseran frekuensi ini bertujuan agar memudahkan dalam mendesain filter digital.

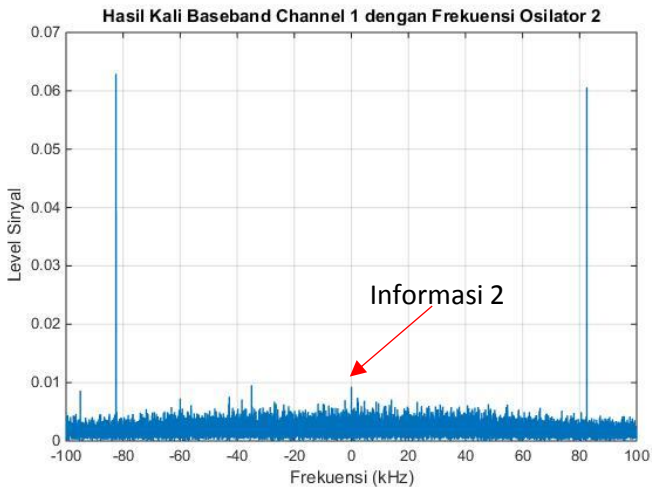
Sinyal informasi dari pemancar 1 berada pada frekuensi 22500 sehingga untuk mendapatkan sinyal informasi 1 pada antenna penerima 1 maka sinyal baseband channel 1 dikalikan dengan frekuensi osilator 1 yaitu frekuensi 22500 Hz. Hasil dari perkalian ini dapat dilihat pada gambar 4.3.

Sedangkan sinyal informasi dari sinyal pemancar 2 berada pada frkeunsi 82500 Hz sehingga untuk mendapatkan sinyal

informasi 2 pada antenna penerima 1 maka baseband channel 2 dikalikan dengan frekuensi karir 2 yaitu frekuensi 82500 Hz. Hasil perkalian ini dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.3 Hasil Kali Baseband Ch. 1 dengan F_{LO1}



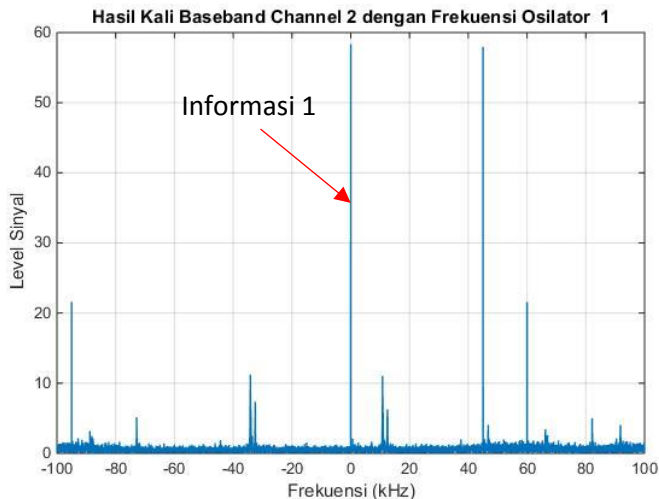
Gambar 4.4 Hasil Kali Baseband Ch. 1 dengan F_{LO2}

Gambar 4.3 menunjukkan hasil kali dari baseband channel 1 dengan frekuensi lokal osilator 1. Hasil perkalian ini menghasilkan sinyal yang berada pada frekuensi 0 Hz yang ditunjukkan dengan anak panah berwarna merah.

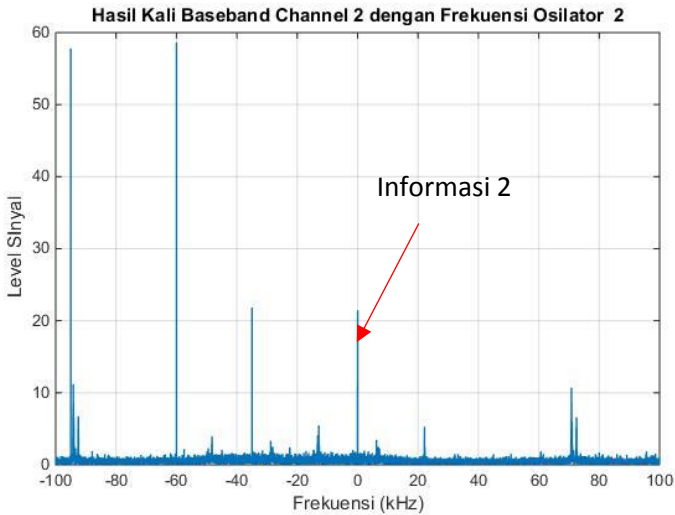
Hal yang sama juga ditunjukkan pada gambar 4.4. Hasil kali dari baseband channel 1 dengan frekuensi lokal osilator 2 terlihat pada gambar 4.4. Hasil dari perkalian sinyal informasi 2 ditunjukkan pada anak panah berwarna merah.

Perkalian ini juga dilakukan pada baseband channel 2. Sinyal informasi 1 pada antenna penerima 2 bisa didapatkan dengan cara mengkalikan baseband channel 2 dengan frekuensi lokal osilator 1. Hasil dari perkalian ini diilustrasikan pada gambar 4.5.

Sedangkan sinyal informasi 2 pada antenna penerima 2 bisa didapatkan dengan cara mengkalikan baseband channel 2 dengan frekuensi lokal osilator 2. Hasil dari perkalian ini diilustrasikan pada gambar 4.6.



Gambar 4.5 Hasil Kali Baseband Ch. 2 dengan F_{LO1}



Gambar 4.6 Hasil Kali Baseband Ch. 2 dengan F_{LO2}

Hasil kali ini menghasilkan empat buah sinyal. Keempat buah sinyal ini akan digunakan untuk mendapatkan nilai dari respon kanal dan selanjutnya akan diolah untuk mendapatkan nilai korelasi kanal dan kapasitas.

4.2.2 Proses Mendapatkan Respon Kanal

Setelah melewati proses perkalian dengan frekuensi karir maka tahap selanjutnya adalah mendapatkan nilai respon kanal. Pada penelitian ini sinyal yang dikirimkan berupa sinyal tone pada frekuensi 0Hz sehingga untuk mendapatkan respon kanal cukup hanya dengan melakukan filter. Filter yang digunakan adalah filter yang menggunakan teknik windowing dengan memilih window Hamming. Sebelum melakukan proses filtering maka harus ditentukan orde filternya terlebih dahulu. Penentuan orde filter dapat menggunakan persamaan 4.1 dengan cara menentukan nilai frekuensi *cut off* dan frekuensi *stopband* nya terlebih dahulu.

$$N \geq k \frac{2\pi}{w_s - w_c} \quad (4.1)$$

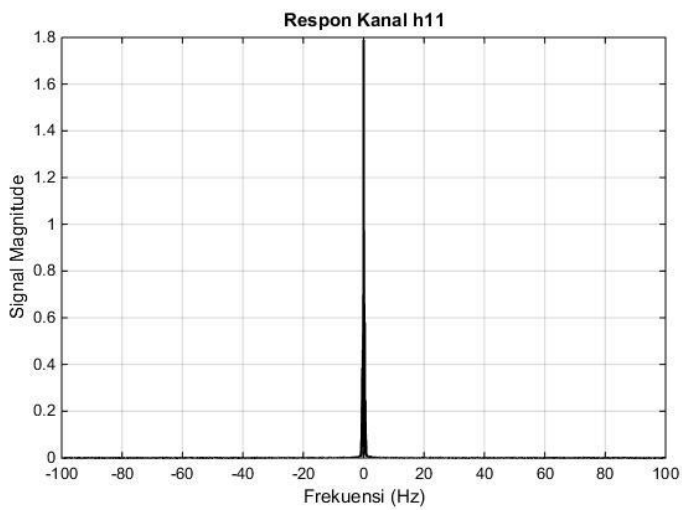
Dimana k adalah konstanta. Nilai k ini bergantung pada jenis window yang digunakan. Window Hamming memiliki nilai k sebesar 4 [12]. Sehingga nilai orde filter yang digunakan adalah sebesar 800.

Setelah mendapatkan nilai orde filter maka selanjutnya orde filter digunakan untuk mendapatkan fungsi filter. Persamaan fungsi filter dapat menggunakan persamaan 4.2.

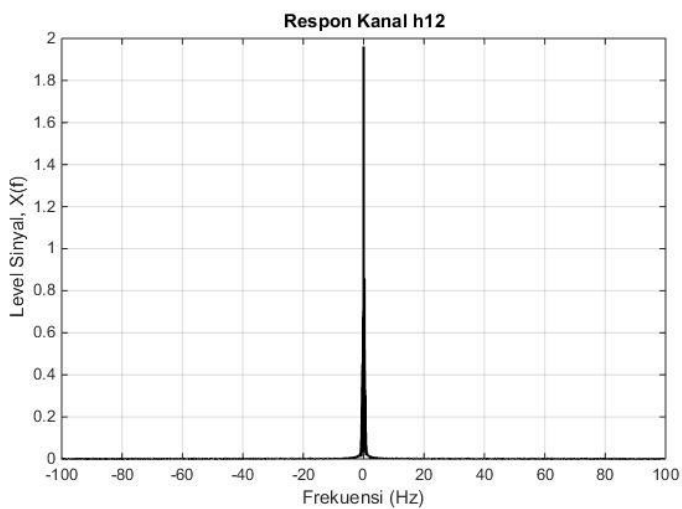
$$w(n) = 0.54 - 0.46\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (4.2)$$

Setelah berhasil mendesain filter dengan teknik windowing maka tahap selanjutnya adalah melakukan konvolusi antara fungsi filter dengan fungsi sinyal hasil perkalian. Hasil dari proses konvolusi ini menghasilkan nilai respon kanal setiap channel *transmitter* terhadap setiap channel *receiver*. Terdapat empat buah respon kanal yang dihasilkan yang diberi simbol h_{11} , h_{12} , h_{21} dan h_{22} .

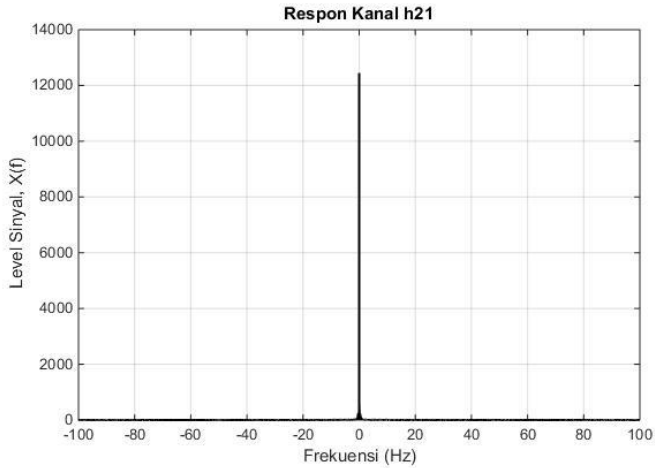
Nilai h_{11} menunjukkan respon kanal antara channel 1 pada *transmitter* terhadap channel 1 pada *receiver*. Nilai h_{12} menunjukkan respon kanal antara channel 2 pada *transmitter* terhadap channel 1 pada *receiver*. Nilai h_{21} menunjukkan respon kanal antara channel 1 pada *transmitter* terhadap channel 2 pada *receiver*. Nilai h_{22} menunjukkan respon kanal antara channel 2 pada *transmitter* terhadap channel 2 pada *receiver*. Hasil respon kanal dapat dilihat pada gambar 4.7.



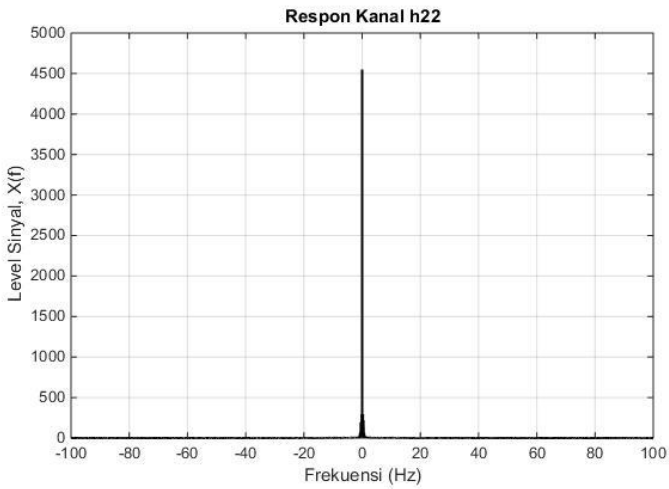
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.7 Respon Kanal, (a) h11 (b) h12 (c) h21 (d) h22

Gambar 4.7 menunjukkan hasil filter dari hasil kali baseband channel dengan frekuensi osilator. Sehingga respon kanal ini berada pada frekuensi 0 Hz. Respon kanal ini berupa bilangan kompleks sehingga sumbu y pada gambar 4.7

menunjukkan nilai magnitudo dari respon kanal. Sumbu x pada gambar 4.7 menunjukkan frekuensi. Bandwith frekuensi yang ingin dilihat adalah 200Hz sedangkan respon kanal pada frekuensi 0 Hz sehingga bandwidth 200 Hz terbagi menjadi 2 yaitu pada sisi kanan dan sisi kiri respon kanal sehingga spektrum sumbu x berada pada rentang -100 hingga 100 Hz.

Tabel 4.1. Hasil Respon Kanal

Jam	Data ke	h11	h12	h21	h22
		compleks (1E+3)	compleks (1E+3)	compleks (1E+3)	compleks (1E+3)
Pagi	1	0,8900 - 0,2609i	2,8150 - 0,5334i	-0,0018 + 0,0022i	-0,0005 - 0,0017i
	2	-1,4211 - 1,9313i	-0,1706 + 1,8390i	-0,0009 - 0,0010i	0,00002 + 0,0012i
	3	-0,9079 - 2,0346i	-1,9466 - 1,1470i	0,0021 + 0,0005i	0,0009 - 0,0007i
	4	-0,0609 - 0,0571i	-0,4556 + 1,9286i	0,0015 + 0,0005i	-0,0006 - 0,0017i
	5	0,3034 - 0,2468i	-0,5472 - 1,2572i	0,0002 + 0,0023i	0,0020 + 0,0006i
	6	1,4462 - 0,9844i	-1,1820 - 1,0556i	0,0025 + 0,0007i	-0,00002 + 0,0002i
	7	0,9502 - 0,4803i	-1,2723 + 1,0407i	-0,0004 + 0,0004i	0,0008 - 0,0013i
	8	-1,2487 + 0,1898i	-0,7912 + 1,0245i	0,0009 + 0,0006i	0,0008 + 0,0006i
	9	-0,24685 - 0,73913i	0,61263 - 0,09320i	0,00117 - 0,00030i	0,00052 - 0,00047i
Siang	1	1,3116 - 0,4255i	0,3690 + 0,8667i	0,0006 + 0,0009i	-0,0007 - 0,0005i
	2	-0,0008 + 0,0005i	-0,0002 - 0,0006i	4,1450 - 0,8068i	2,7036 - 3,3610i
	3	-0,0004 + 0,0017i	-0,0011 + 0,0007i	-0,1816 + 7,6991i	-1,7868 + 3,7668i
	4	0,0005 + 0,0009i	0,0008 - 0,0004i	1,9723 - 1,6463i	3,6617 - 0,8133i

Lanjutan Tabel 4.1					
Jam	Data ke	h11	h12	h21	h22
		kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
Siang	5	-0,0010 + 0,0003i	-0,0013 - 0,0011i	0,7895 - 6,0298i	2,0942 - 1,3955i
	6	0,0003 + 0,0009i	-0,0008 - 0,0009i	4,3195 + 3,1719i	4,9019 - 1,9633i
	7	0,0015 - 0,0011i	0,0002 - 0,0008i	1,0866 + 0,7751i	1,1000 + 1,2319i
	8	0,0007 + 0,0008i	-0,0004 + 0,0007i	-2,0859 - 0,6706i	3,7259 + 0,4215i
	9	-0,0008 - 0,0005i	-0,0009 + 0,0001i	1,4792 + 0,0712i	-3,2189 + 1,8780i
	10	-0,0009 - 0,0006i	0,0006 + 0,0004i	-5,0366 - 1,8487i	3,6844 - 3,4099i
	11	0,0012 + 0,0010i	0,0008 + 0,0005i	-0,9943 - 0,6274i	4,4081 - 4,1076i
	12	-0,0005 + 0,0015i	-0,0012 + 0,0001i	-2,5886 - 1,0480i	4,7031 - 1,1584i
	13	-0,0012 - 0,0002i	0,0015 - 0,0003i	3,3606 - 5,5699i	-3,4645 + 0,4360i
	14	0,00002 - 0,0006i	-0,0003 - 0,0009i	6,5745 + 2,5087i	5,4096 + 1,6492i
	15	-0,0006 - 0,0008i	0,0020 - 0,0009i	-3,5424 + 5,5409i	-3,6191 + 3,4520i
	16	0,0001 + 0,0004i	0,0012 - 0,0001i	-6,4437 + 0,0426i	1,8024 + 3,5539i
	17	-0,001 + 0,002i	-0,001 + 0,001i	3,666 + 0,521i	-3,296 + 11,767i
	18	-0,00004 - 0,001i	-0,002 - 0,002i	-3,187 - 0,919i	11,914 + 0,938i
	19	-0,0015 + 0,0009i	-0,0006 + 0,0015i	1,9410 - 7,0798i	3,9022 - 1,1794i
	20	0,0005 + 0,0018i	0,0011 + 0,0013i	4,5194 + 2,6781i	7,5673 - 1,4824i

Lanjutan Tabel 4.1					
Jam	Data ke	h11	h12	h21	h22
		kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
Siang	21	0,002 + 0,0002i	0,001 + 0,003i	7,474 - 6,097i	-11,640 - 0,976i
	22	-0,0008 + 0,0011i	0,0014 - 0,0002i	1,4050 + 0,8106i	1,2416 + 0,5544i
	23	0,0016 + 0,000006i	0,0004 - 0,0005i	-6,8996 + 1,0520i	-7,4584 - 1,2277i
	24	0,0005 - 0,0009i	0,0008 - 0,0014i	0,6139 - 1,7371i	3,5516 - 0,1319i
	25	0,0015 + 0,0014i	0,0008 + 0,0014i	-3,4871 - 1,9334i	-4,1885 + 5,3929i
Sore	1	-0,002 - 0,002i	-0,0005 - 0,001i	12,742 - 11,817i	0,335 - 8,702i
	2	-0,0011 - 0,0020i	-0,0018 - 0,0009i	5,4856 + 1,7685i	-1,9142 + 3,7504i
	3	0,0001 + 0,0011i	0,0005 - 0,0007i	1,2120 - 0,5678i	-4,0854 + 1,9602i
	4	-0,0003 - 0,0012i	-0,0014 - 0,0007i	6,4716 - 0,8066i	3,4582 + 4,2791i
	5	-0,0009 - 0,0012i	0,0012 + 0,0013i	0,8238 - 0,7698i	-1,4230 - 5,4871i
	6	0,0003 + 0,0017i	0,00003 + 0,0003i	0,3881 - 3,6575i	3,6799 - 0,4743i
	7	0,0014 + 0,0011i	-0,0017 + 0,0019i	-5,0126 - 0,6054i	-5,8351 + 3,3316i
	8	-0,0013 + 0,0012i	-0,0013 - 0,0023i	3,2294 - 2,2340i	-2,8373 - 2,8905i
	9	-0,0006 + 0,0010i	-0,0023 - 0,0008i	2,1185 + 2,0774i	1,3182 + 4,3670i
	10	-0,0003 + 0,0011i	-0,0016 + 0,0009i	0,7989 - 0,3054i	3,0628 - 1,5996i
	11	-0,0007 + 0,0013i	-0,0027 - 0,0007i	0,7247 + 5,0530i	5,4391 - 3,0776i

Lanjutan Tabel 4.1					
Jam	Data ke	h11	h12	h21	h22
		kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
Sore	12	0,0011 + 0,0007i	0,0010 + 0,0011i	0,0409 + 0,3192i	-1,4614 - 2,0608i
	13	-0,0015 - 0,0009i	-0,0011 - 0,0018i	0,3621 - 3,9516i	1,8854 - 0,0343i
	14	0,0036 - 0,0008i	0,0014 - 0,0026i	3,7884 - 0,7522i	3,5834 - 0,0818i
	15	0,0001 + 0,0025i	-0,0025 - 0,0002i	-1,2010 + 5,2007i	-1,3875 - 2,7808i
	16	0,0002 + 0,0009i	-0,0015 + 0,0023i	-2,7713 - 1,1501i	0,4625 - 6,2610i

Tabel 4.1 menunjukkan nilai dari respon kanal yang dihasilkan pada tanggal 20 Juni 2017. Respon kanal ini terlihat berubah-ubah terhadap waktu. Hal ini dikarenakan perubahan kanal terjadi pada setiap 2ms. Tabel respon kanal secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Nilai respon kanal ini berupa bilangan kompleks yang dapat dihitung nilai magnitudo dan phasenya. Nilai magnitudonya akan menunjukkan besarnya penguatan yang dialami sinyal informasi pada kanal tersebut sedangkan fasenya akan menunjukkan besar fase sinyal informasi tersebut. Nilai respon kanal ini akan digunakan untuk mendapatkan nilai korelasi antar kanal dan kapasitas.

4.2.3 Perhitungan Koefisien Korelasi Kanal

Setelah mendapatkan nilai respon kanal maka tahap selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi antar kanal. Nilai koefisien korelasi kanal ini bertujuan untuk mengetahui apakah antar kanal mengalami korelasi atau tidak. Terdapat enam buah koefisien korelasi kanal yang akan didapatkan yaitu koefisien korelasi kanal antara h11 dengan h12, koefisien korelasi kanal antara h11 dengan h 21, koefisien korelasi kanal antara h11 dengan h22, koefisien korelasi kanal antara h12 dengan h21, koefisien korelasi kanal antara h12

dengan h22 dan koefisien korelasi kanal antara h21 dengan h22.

Koefisien korelasi kanal ini memiliki nilai berkisar antara 0 dan 1, dimana angka 0 menunjukkan bahwa kanal tersebut tidak saling berkorelasi dan angka 1 menunjukkan bahwa kanal tersebut saling berkorelasi.

Perhitungan koefisien korelasi kanal ini menggunakan nilai respon kanal yang sudah didapatkan pada tabel 4.1. Perhitungan nilai koefisien korelasi kanal dapat menggunakan persamaan 4.3.

$$Corr_k (Hc_{ji}, Hc_{j' i'}) = \frac{cov(Hc_{ji}^k, Hc_{j' i'}^k)}{\sqrt{(Hc_{ji}^k) \cdot \sqrt{(Hc_{j' i'}^k)}}} \quad (4.3)$$

Dimana j dan i merupakan indeks dari respon kanal dan k menunjukkan indeks gabungan antara j dan i.

Tabel 4.2 Nilai Korelasi Kanal

rho h11- h12	rho h11- h21	rho h11- h22	rho h12- h21	rho h12- h22	rho h21- h22
0,3351	0,0086	0,0216	0,0034	0,0088	0,1517

Tabel 4.2 menunjukkan nilai-nilai koefisien korelasi antar kanal. Koefisien korelasi antara kanal h11 dengan h12 memiliki nilai sebesar 0,3351 hal ini menunjukkan bahwa antara kanal h11 dan kanal h12 memiliki nilai korelasi yang kecil dikarenakan nilai koefisien korelasinya mendekati angka 0. Koefisien korelasi antara kanal h11 dengan h21 memiliki nilai sebesar 0,0086 hal ini menunjukkan bahwa antara kanal h11 dan kanal h21 memiliki nilai korelasi yang kecil dikarenakan nilai koefisien korelasinya yang kecil yang mendekati angka 0. Koefisien korelasi antara kanal h11 dengan h22 memiliki nilai sebesar 0,0216 hal ini menunjukkan bahwa antara kanal h11 dan kanal h22 memiliki nilai korelasi yang kecil dikarenakan nilai koefisien korelasinya mendekati angka 0.

Koefisien korelasi antara kanal h12 dengan h21 memiliki nilai sebesar 0,0034 hal ini menunjukkan bahwa antara kanal

h12 dan kanal h21 memiliki nilai korelasi yang sangat kecil dikarenakan nilai koefisien korelasinya mendekati angka 0. Koefisien korelasi antara kanal h12 dengan h22 memiliki nilai sebesar 0,0088 hal ini menunjukkan bahwa antara kanal h12 dan kanal h22 memiliki nilai korelasi yang sangat kecil dikarenakan nilai koefisien korelasinya mendekati angka 0. Sedangkan Koefisien korelasi antara kanal h21 dengan h22 memiliki nilai sebesar 01517 hal ini menunjukkan bahwa antara kanal h21 dan kanal h22 memiliki nilai korelasi yang kecil dikarenakan nilai koefisien korelasinya mendekati angka 0.

Berdasarkan nilai – nilai koefisien korelasi tersebut dapat disimpulkan bahwa antar kanal dalam sistem HF MIMO NVIS ini memiliki nilai korelasi yang kecil. Sehingga antar kanal h11, h12, h21 dan h22 tidak saling tumpang tindih dan tidak saling menghilangkan.

4.2.4 Pengukuran Daya Noise

Tahap selanjutnya adalah mengukur daya noise. Pengukuran daya noise ini bertujuan untuk mendapatkan daya noise kanal saat pengukuran. Setiap channel pada semua data pengukuran diukur daya noisenya dengan cara mengambil nilai minimum level sinyal pada semua data tersebut. Setiap channel akan menghasilkan level sinyal noise yang berbeda-beda sehingga akan menghasilkan daya noise yang berbeda-beda pula.

Selanjutnya dilakukan rata-rata terhadap semua nilai daya noise tersebut. Sehingga didapatkan nilai daya noise rata-rata dari sistem komunikasi ini adalah ± 0.00000596 Watt. Dengan asumsi bahwa noise pada penelitian ini adalah white noise maka noise pada semua data hasil pengukuran memiliki nilai yang sama. Sehingga nilai daya noise rata-rata ini yang akan digunakan sebagai nilai daya noise pada perhitungan kapasitas.

4.2.5 Perhitungan Kapasitas HF MIMO NVIS

Setelah mendapatkan nilai respon kanal h11, h12, h21 dan h22 maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai kapasitas HF MIMO NVIS. Perhitungan kapasitas ini dapat menggunakan persamaan 2.11 dengan rincian daya pancar

sebesar 20 Watt dan daya noise sebesar 0.00000596 Watt. Sehingga akan didapatkan nilai kapasitas seperti pada Tabel 4.3.

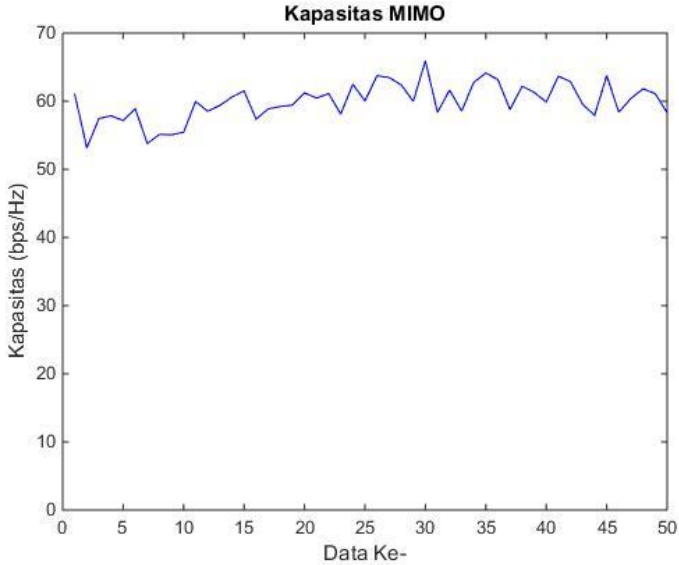
Tabel 4.3 Kapasitas Sistem Komunikasi HF MIMO NVIS

Jam	Data ke	Kapasitas MIMO	Rata-rata Kapasitas
Pagi	1	61,0073	56,61766
	2	53,1518	
	3	57,4653	
	4	57,8603	
	5	57,1687	
	6	58,9011	
	7	53,7951	
	8	55,1299	
	9	55,0794	
Siang	1	55,4484	60,4269
	2	59,9612	
	3	58,5217	
	4	59,3861	
	5	60,6157	
	6	61,538	
	7	57,3731	
	8	58,8802	
	9	59,229	
	10	59,4245	
	11	61,2235	
	12	60,4705	
	13	61,1253	
	14	58,1102	
	15	62,4709	
	16	60,057	
	17	63,7364	
	18	63,4799	
	19	62,3938	

Lanjutan Tabel 4.3			
Jam	Data ke	Kapasitas MIMO	Rata-rata Kapasitas
Siang	20	59,9981	
	21	65,9155	
	22	58,3715	
	23	61,6213	
	24	58,5601	
	25	62,7607	
Sore	1	64,1433	61,08183
	2	63,1628	
	3	58,7784	
	4	62,1964	
	5	61,2927	
Sore	6	59,8743	61,08183
	7	63,6682	
	8	62,8751	
	9	59,5797	
	10	57,9202	
	11	63,7543	
	12	58,3951	
	13	60,3996	
	14	61,8222	
	15	61,1192	
	16	58,3278	

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai kapasitas HF MIMO NVIS berubah-ubah terhadap waktu. Nilai kapasitas pada pagi hari atau pukul 07.00 WIB hingga pukul 10.00 WIB memiliki rata-rata sebesar 56,61766 bps/Hz. Nilai kapasitas pada siang hari atau pukul 10.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB memiliki rata-rata sebesar 60,4269 bps/Hz. Sedangkan pada sore hari atau pukul 15.00 WIB hingga pukul 17.00 WIB nilai rata-rata kapasitas sebesar 61,08183 bps/Hz. Hal ini

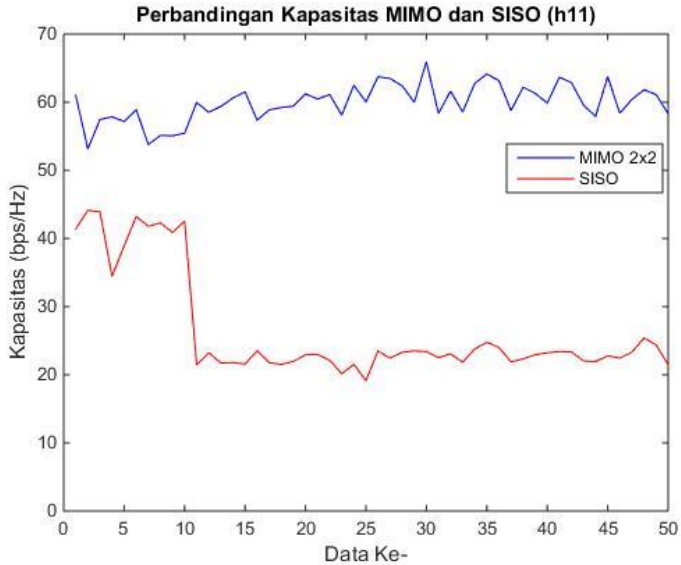
berarti nilai kapasitas mengalami kenaikan mulai pagi hari, siang hari hingga sore hari. Nilai kapasitas rata-rata tertinggi tercapai pada saat sore hari.



Gambar 4.8 Nilai Kapasitas MIMO

Berdasarkan tabel 4.3 dan gambar 4.8 dapat diketahui besar nilai kapasitas HF MIMO NVIS pada penelitian ini. Selain itu didapatkan bahwa nilai rata-rata dari kapasitas HF MIMO NVIS ini adalah 60,573 bps/Hz. Nilai kapasitas ini berubah-ubah terhadap waktu bergantung kepada respon kanalnya.

Tahap selanjutnya adalah membandingkan nilai kapasitas sistem MIMO dengan nilai kapasitas sistem SISO. Nilai kapasitas SISO ini didapatkan dari perhitungan kapasitas menggunakan respon kanal h11. Grafik perbandingan nilai kapasitas SISO dan MIMO dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Perbandingan Kapasitas MIMO dan SISO

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai kapasitas MIMO lebih besar dibandingkan dengan kapasitas SISO. Nilai rata-rata dari kapasitas MIMO adalah 60,573 bps/Hz sedangkan nilai rata-rata dari kapasitas SISO(TX1-RX1) adalah 24,699 bps/Hz. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan antenna MIMO ini dapat meningkatkan kapasitas HF MIMO NVIS ini dengan peningkatan sebesar 35,874 bps/Hz atau $\pm 2,45$ kali. Hal ini sesuai dengan teori bahwa penggunaan antenna MIMO dapat memperbesar kapasitas suatu sistem komunikasi.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengukuran dan analisa data maka kesimpulan yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Nilai koefisien korelasi antara kanal h11 dan h12 pada sistem HF MIMO NVIS untuk link Surabaya-Malang sebesar 0.3351.
2. Nilai koefisien korelasi antara kanal h11 dan h21 pada sistem HF MIMO NVIS untuk link Surabaya-Malang sebesar 0.0086.
3. Nilai koefisien korelasi antara kanal h11 dan h22 pada sistem HF MIMO NVIS untuk link Surabaya-Malang sebesar 0.0216.
4. Nilai koefisien korelasi antara kanal h12 dan h21 pada sistem HF MIMO NVIS untuk link Surabaya-Malang sebesar 0.0034.
5. Nilai koefisien korelasi antara kanal h12 dan h22 pada sistem HF MIMO NVIS untuk link Surabaya-Malang sebesar 0.0088.
6. Nilai koefisien korelasi antara kanal h21 dan h22 pada sistem HF MIMO NVIS untuk link Surabaya-Malang sebesar 0.1517.
7. Sistem HF MIMO NVIS untuk link Surabaya-Malang memiliki nilai rata-rata kapasitas sekitar 56,6177 bps/Hz pada pagi hari (pukul 07.00-10.00 WIB), 60,4269 bps/Hz pada siang hari (pukul 10.00-15.00 WIB) dan 61,0818 bps/Hz pada sore hari (pukul 15.00-17.00 WIB).
8. Nilai rata-rata kapasitas SISO untuk link Surabaya-Malang sebesar 24,699 bps/Hz.
9. Penggunaan sistem MIMO pada HF MIMO NVIS dapat meningkatkan kapasitas jika dibandingkan penggunaan sistem SISO dengan peningkatan kapasitas sebesar 35.874 bps/Hz atau dengan kata lain sistem MIMO memiliki kapasitas sebesar 2,45 kali lebih besar dari pada sistem SISO.

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan penelitian analisis korelasi dan kapasitas HF MIMO NVIS selanjutnya:

1. Untuk meningkatkan akurasi perhitungan korelasi kanal dan kapasitas selanjutnya dapat menggunakan pengiriman sinyal dalam bentuk kode lain, misalkan kode barker.
2. Sebaiknya lama waktu pengukuran ditambah hingga malam agar data yang didapatkan lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aryaditya, Vigor. “Pengukuran Dan Karakterisasi Interferensi Radio Pada Pita Frekuensi High Frequency (HF)”. Elektro ITS, Surabaya, 2016.
- [2] L. F. McNamara, “*The Ionosphere: Communications, Surveillance, Direction Finding*”. Krieger Publishing Company, Florida, 1991.
- [3] Suharti, Sri. “Komunikasi Radio High Frequency Jarak Dekat”. Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara Vol. 6 No. 1 Maret 2011
- [4] A. Nisa. “Sistem Komunikasi High Frequency (HF) Pada Lintasan Surabaya Merauke”. Elektro ITS, Surabaya, 2013.
- [5] R. C. Daniels, S. W. Peters and R. W. Heath,Jr, “*HF MIMO NVIS Measurements with Co-located Dipoles for Future Tactical Communications*”, IEEE Military Communication Conference,2013.
- [6] R. Vayayang. “Analisis Performansi Interference Cancellation Pada Sistem Komunikasi HF TRDMA”. Elektro ITS, Surabaya, 2017
- [7] S. D. Abdullah. “Pemodelan Kanal Radio HF NVIS Di Daerah Khatulistiwa”. Elektro ITS, Surabaya. 2015
- [8] Ben A. Witvliet, “ *The importance of circular polarization for diversity reception and MIMO in NVIS propagation*”, IEEE The 8th European Conference on Antenna and Propagation (EuCAP 2014), 2014.
- [9] Alamouti, S.M. “*A simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications*”. IEEE Journal on select Area in Communications, Vol. 16, No.8, 1998.
- [10] Yvon Erhel, Dominique Lemur and Martial Oger, “*Evaluation of Ionospheric HF MIMO Channel Two Complementary Circular Polarizations Reduce Correlation*”. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2016.
- [11] Orari.Pembagian dan Penggunaan Segmen Band Frekuensi Amatir Radio (BANDPLAN). Kep-065/OP/KU/2009.
- [12] E. Sri, M. Diah. R, R. Nancy, D. Marlia, “Lapisan E Sporadic Ionosfer Global Dari Teknik GPS-RO”, Berita Dirgantara, Vol. 13, No. 2, 2012.
- [13] Australian Government. “IPS Radio and Space Service, Introduction to HF Radio Propagation.pdf” Sidney, Australia. 2007.
- [14] J. G. Proakis and Masoud Salehi, “Digital Communication 5th edition”. Mc Graw Hill, New York, 2008.

- [15] Suharti, Sri. "Sudut Elevasi dan Ketinggian Antena Untuk Komunikasi Radio HF". Berita Dirgantara Vol. 9 No. 3 September 2008 Hal. 75-78.
- [16] Liana, Teresa. "Analisis Kuat Medan Pada Penerimaan Radio AM". Fakultas Teknik UI. 2008

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Isma Choiriyah
Nomor Pokok : 2215 105 074
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Th 2016/2017
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

10 FEB 2017

Judul Tugas Akhir : Analisis Korelasi Kanal dan Kapasitas HF MIMO NVIS
(Channels Correlation and Capacities Analysis of HF MIMO NVIS)

Uraian Tugas Akhir :

Sistem Komunikasi *High Frequency* (HF) merupakan sistem komunikasi yang menggunakan spektrum frekuensi 3-30 MHz dengan panjang gelombang 10-100m. Sistem komunikasi ini memanfaatkan pantulan yang diakibatkan oleh ionosfer. Salah satu teknik komunikasi HF adalah *Near Vertical Incident Skywave* (NVIS). NVIS menggunakan frekuensi antara 3-10 MHz dengan sudut elevasi 70-90° (mendekati vertikal) dan dapat menjangkau area hingga 200km. NVIS menggunakan infrastruktur lokal yang bersifat independen sehingga dapat juga dijadikan sebagai komunikasi alternatif untuk daerah yang mengalami bencana besar saat jaringan telekomunikasi mengalami kerusakan akibat bencana. Infrastruktur independen tersebut nilainya lebih murah daripada membangun jaringan telekomunikasi sehingga NVIS juga dapat dijadikan alternatif sistem komunikasi pada daerah terpencil yang belum memiliki infrastruktur jaringan telekomunikasi. Penggunaan antenna MIMO dapat komunikasi HF NVIS dapat menaikkan *data rate* dan mengurangi *power transmit*.

Penelitian ini menggunakan frekuensi 7 MHz, antenna MIMO 2 x 2 dan perangkat *Universal Software Radio Peripheral* (USRP). Perancangan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Labview* yang menghubungkan antara komputer dengan USRP. Implementasi dan pengukuran sistem komunikasi ini dilakukan pada *link* komunikasi antara Surabaya dengan Trenggalek yang memiliki jarak ±160 km. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut maka akan dapat didapatkan korelasi kanal dan kapasitas HF MIMO NVIS dengan mencari nilai dari respon impuls, koefisien korelasi antar kanal dan *Signal to Noise Ratio* (SNR).


Dosen Pembimbing I,


Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D
Nip : 197011111993031002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1


Dedet C. Riawan, ST, M.Eng. Ph.D
Nip : 1973111192000031001

Dosen Pembimbing II,


Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.
Nip : 196109031989031001

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi,


Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng., Ph.D
Nip : 197011111993031002

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN B

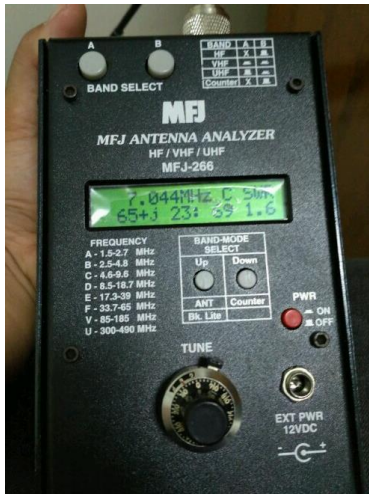
DOKUMENTASI IMPLEMENTASI DAN PENGUKURAN



Gambar 1 VSWR Antena TX1



Gambar 2 VSWR Antena TX2



Gambar 3 VSWR Antena RX1



Gambar 4 VSWR Antena RX2



Gambar 5 Daya Output TX1



Gambar 6 Daya Output TX2



Gambar 7 Pengukuran Sisi Tx



Gambar 8 Pengukuran Sisi Rx

LAMPIRAN C

Tabel Hasil Pengukuran Respon Kanal

Tanggal	Waktu	Data ke	h11	h12	h21	h22
			kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
20 Juni	Pagi	1	0,8900 - 0,2609i	2,8150 - 0,5334i	-0,0018 + 0,0022i	-0,0005 - 0,0017i
		2	-1,4211 - 1,9313i	-0,1706 + 1,8390i	-0,0009 - 0,0010i	0,00002 + 0,0012i
		3	-0,9079 - 2,0346i	-1,9466 - 1,1470i	0,0021 + 0,0005i	0,0009 - 0,0007i
		4	-0,0609 - 0,0571i	-0,4556 + 1,9286i	0,0015 + 0,0005i	-0,0006 - 0,0017i
		5	0,3034 - 0,2468i	-0,5472 - 1,2572i	0,0002 + 0,0023i	0,0020 + 0,0006i
		6	1,4462 - 0,9844i	-1,1820 - 1,0556i	0,0025 + 0,0007i	-0,00002 + 0,0002i
		7	0,9502 - 0,4803i	-1,2723 + 1,0407i	-0,0004 + 0,0004i	0,0008 - 0,0013i
		8	-1,2487 + 0,1898i	-0,7912 + 1,0245i	0,0009 + 0,0006i	0,0008 + 0,0006i
		9	-0,24685 - 0,73913i	0,61263 - 0,09320i	0,00117 - 0,00030i	0,00052 - 0,00047i
	Siang	1	1,3116 - 0,4255i	0,3690 + 0,8667i	0,0006 + 0,0009i	-0,0007 - 0,0005i
		2	-0,0008 + 0,0005i	-0,0002 - 0,0006i	4,1450 - 0,8068i	2,7036 - 3,3610i
		3	-0,0004 + 0,0017i	-0,0011 + 0,0007i	-0,1816 + 7,6991i	-1,7868 + 3,7668i
		4	0,0005 + 0,0009i	0,0008 - 0,0004i	1,9723 - 1,6463i	3,6617 - 0,8133i
		5	-0,0010 + 0,0003i	-0,0013 - 0,0011i	0,7895 - 6,0298i	2,0942 - 1,3955i

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Respon Kanal

Tanggal	Waktu	Data ke	h11	h12	h21	h22
			kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
20 Juni	Siang	6	0,0003 + 0,0009i	-0,0008 - 0,0009i	4,3195 + 3,1719i	4,9019 - 1,9633i
		7	0,0015 - 0,0011i	0,0002 - 0,0008i	1,0866 + 0,7751i	1,1000 + 1,2319i
		8	0,0007 + 0,0008i	-0,0004 + 0,0007i	-2,0859 - 0,6706i	3,7259 + 0,4215i
		9	-0,0008 - 0,0005i	-0,0009 + 0,0001i	1,4792 + 0,0712i	-3,2189 + 1,8780i
		10	-0,0009 - 0,0006i	0,0006 + 0,0004i	-5,0366 - 1,8487i	3,6844 - 3,4099i
		11	0,0012 + 0,0010i	0,0008 + 0,0005i	-0,9943 - 0,6274i	4,4081 - 4,1076i
		12	-0,0005 + 0,0015i	-0,0012 + 0,0001i	-2,5886 - 1,0480i	4,7031 - 1,1584i
		13	-0,0012 - 0,0002i	0,0015 - 0,0003i	3,3606 - 5,5699i	-3,4645 + 0,4360i
		14	0,00002 - 0,0006i	-0,0003 - 0,0009i	6,5745 + 2,5087i	5,4096 + 1,6492i
		15	-0,0006 - 0,0008i	0,0020 - 0,0009i	-3,5424 + 5,5409i	-3,6191 + 3,4520i
		16	0,0001 + 0,0004i	0,0012 - 0,0001i	-6,4437 + 0,0426i	1,8024 + 3,5539i
		17	-0,001 + 0,002i	-0,001 + 0,001i	3,666 + 0,521i	-3,296 + 11,767i
		18	-0,00004 - 0,001i	-0,002 - 0,002i	-3,187 - 0,919i	11,914 + 0,938i
		19	-0,0015 + 0,0009i	-0,0006 + 0,0015i	1,9410 - 7,0798i	3,9022 - 1,1794i
		20	0,0005 + 0,0018i	0,0011 + 0,0013i	4,5194 + 2,6781i	7,5673 - 1,4824i

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Respon Kanal

Tanggal	Waktu	Data ke	h11	h12	h21	h22
			kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
20 Juni	Siang	21	0,002 + 0,0002i	0,001 + 0,003i	7,474 - 6,097i	-11,640 - 0,976i
		22	-0,0008 + 0,0011i	0,0014 - 0,0002i	1,4050 + 0,8106i	1,2416 + 0,5544i
		23	0,0016 + 0,000006i	0,0004 - 0,0005i	-6,8996 + 1,0520i	-7,4584 - 1,2277i
		24	0,0005 - 0,0009i	0,0008 - 0,0014i	0,6139 - 1,7371i	3,5516 - 0,1319i
		25	0,0015 + 0,0014i	0,0008 + 0,0014i	-3,4871 - 1,9334i	-4,1885 + 5,3929i
	Sore	1	-0,002 - 0,002i	-0,0005 - 0,001i	12,742 - 11,817i	0,335 - 8,702i
		2	-0,0011 - 0,0020i	-0,0018 - 0,0009i	5,4856 + 1,7685i	-1,9142 + 3,7504i
		3	0,0001 + 0,0011i	0,0005 - 0,0007i	1,2120 - 0,5678i	-4,0854 + 1,9602i
		4	-0,0003 - 0,0012i	-0,0014 - 0,0007i	6,4716 - 0,8066i	3,4582 + 4,2791i
		5	-0,0009 - 0,0012i	0,0012 + 0,0013i	0,8238 - 0,7698i	-1,4230 - 5,4871i
		6	0,0003 + 0,0017i	0,00003 + 0,0003i	0,3881 - 3,6575i	3,6799 - 0,4743i
		7	0,0014 + 0,0011i	-0,0017 + 0,0019i	-5,0126 - 0,6054i	-5,8351 + 3,3316i
		8	-0,0013 + 0,0012i	-0,0013 - 0,0023i	3,2294 - 2,2340i	-2,8373 - 2,8905i
		9	-0,0006 + 0,0010i	-0,0023 - 0,0008i	2,1185 + 2,0774i	1,3182 + 4,3670i
		10	-0,0003 + 0,0011i	-0,0016 + 0,0009i	0,7989 - 0,3054i	3,0628 - 1,5996i

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Respon Kanal

Tanggal	Waktu	Data ke	h11	h12	h21	h22
			kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
20 Juni	Sore	11	-0,0007 + 0,0013i	-0,0027 - 0,0007i	0,7247 + 5,0530i	5,4391 - 3,0776i
		12	0,0011 + 0,0007i	0,0010 + 0,0011i	0,0409 + 0,3192i	-1,4614 - 2,0608i
		13	-0,0015 - 0,0009i	-0,0011 - 0,0018i	0,3621 - 3,9516i	1,8854 - 0,0343i
		14	0,0036 - 0,0008i	0,0014 - 0,0026i	3,7884 - 0,7522i	3,5834 - 0,0818i
		15	0,0001 + 0,0025i	-0,0025 - 0,0002i	-1,2010 + 5,2007i	-1,3875 - 2,7808i
		16	0,0002 + 0,0009i	-0,0015 + 0,0023i	-2,7713 - 1,1501i	0,4625 - 6,2610i
21 Juni	Pagi	1	0,0011 + 0,0000i	-0,0006 - 0,0009i	-5,8077 + 3,0962i	2,5530 - 3,2149i
		2	-0,0018 + 0,0002i	-0,0008 + 0,0001i	-1,4051 - 4,2955i	-5,2343 - 4,5196i
		3	-0,0013 - 0,0024i	-0,0011 - 0,0009i	-3,5284 + 5,2200i	3,8902 - 1,4893i
		4	-0,0012 + 0,0005i	-0,0008 + 0,0009i	4,7568 - 2,2511i	9,6984 + 0,0351i
		5	-0,001 + 0,002i	0,0002 - 0,001i	4,240 + 1,535i	-1,773 + 14,013i
		6	-0,001 - 0,002i	-0,002 - 0,001i	0,469 - 10,664i	2,261 + 2,048i
		7	0,0004 - 0,0016i	-0,0006 - 0,0010i	-8,7315 + 0,0229i	4,6571 + 0,3719i
		8	-0,0010 - 0,0009i	-0,0009 + 0,0011i	2,7053 + 1,5385i	1,2350 + 1,8753i

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Respon Kanal

Tanggal	Waktu	Data ke	h11	h12	h21	h22
			kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
21 Juni	Siang	1	0,0012 - 0,0011i	-0,0001 + 0,0006i	-6,5808 - 1,4521i	1,0464 + 2,5926i
		2	-0,0015 + 0,0002i	0,0008 + 0,0010i	1,4066 + 4,5241i	-0,4597 - 5,4622i
		3	-0,0015 - 0,0014i	0,0013 - 0,0001i	-9,5550 + 1,5010i	-0,6262 - 2,0418i
		4	-0,002 + 0,000i	0,002 - 0,001i	-10,478 - 7,626i	3,122 + 3,522i
		5	-0,0009 - 0,0015i	0,0002 + 0,0006i	1,1384 + 1,6549i	2,3527 - 1,7289i
		6	0,0001 - 0,0012i	-0,0001 - 0,0004i	-2,1548 + 0,9673i	6,6745 + 1,2903i
		7	-0,0032 + 0,0002i	-0,0014 - 0,0015i	-1,9769 - 4,2819i	2,9072 - 4,1571i
		8	-0,001 + 0,002i	0,001 - 0,000i	4,381 - 11,564i	1,146 + 2,067i
		9	0,0002 + 0,0012i	0,00002 + 0,00003i	-4,1332 + 4,9606i	-2,7892 - 0,2937i
		10	0,0009 + 0,0001i	0,0002 + 0,00004i	0,5918 + 3,2596i	5,7685 - 7,0609i
		11	0,002 + 0,0003i	-0,001 - 0,0001i	4,834 - 10,292i	1,315 - 3,573i
		12	0,0006 + 0,0017i	0,0004 + 0,0003i	-2,6113 - 3,9737i	-5,0079 - 4,3251i
		13	0,0001 + 0,0007i	-0,0003 - 0,0004i	2,5917 - 5,4538i	-1,1064 - 2,4481i
		14	0,002 + 0,001i	-0,0001 - 0,001i	-0,093 + 11,761i	0,716 - 0,720i
		15	-0,0002 - 0,0012i	0,0005 - 0,00001i	4,1700 - 5,3450i	-2,6577 - 0,8835i

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Respon Kanal

Tanggal	Waktu	Data ke	h11	h12	h21	h22
			kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
21 Juni	Siang	16	-0,0002 - 0,0007i	-0,0007 + 0,0010i	4,0184 - 0,0515i	3,4446 + 2,3255i
		17	-0,0001 - 0,0005i	0,0002 + 0,0008i	1,7964 - 2,6680i	2,2119 - 0,8997i
		18	0,0003 + 0,0002i	-0,0002 + 0,00005i	-2,1557 + 1,6863i	0,1957 - 4,0086i
		19	0,0004 + 0,0015i	-0,0005 + 0,00002i	5,3629 + 0,8734i	0,3363 + 0,8132i
		20	-0,00004 - 0,0004i	0,0003 + 0,0008i	2,5780 + 4,7925i	1,1665 + 0,2797i
		21	0,0010 + 0,0001i	0,0008 + 0,00005i	-0,2435 + 6,1444i	0,1724 + 2,4523i
		22	-0,0011 + 0,0017i	-0,0006 + 0,0013i	-4,2384 + 0,1265i	-0,6449 + 0,2109i
		23	-0,0005 - 0,0019i	-0,0010 + 0,0010i	4,6943 - 0,5653i	6,0676 - 5,8617i
		24	0,0005 + 0,0005i	0,0017 + 0,0002i	0,5735 + 1,7907i	3,9937 + 7,3778i
		25	0,0002 - 0,0002i	-0,0002 - 0,0001i	0,4223 + 1,0065i	0,2948 + 0,5779i
		26	0,002 - 0,001i	0,001 + 0,001i	-7,099 + 9,451i	-1,289 - 10,302i
		27	-0,001 + 0,002i	-0,001 + 0,001i	-0,706 + 11,604i	-8,126 + 8,801i
		28	-0,001 + 0,002i	-0,0001 + 0,0002i	-6,643 + 5,728i	5,329 - 10,959i
		29	-0,0002 - 0,002i	0,001 + 0,0004i	10,914 - 1,608i	3,254 + 0,298i
		30	-0,0012 + 0,0004i	0,0002 + 0,0002i	-8,5598 - 5,9520i	-5,5877 - 6,7839i

Lanjutan Tabel Hasil Pengukuran Respon Kanal

Tanggal	Waktu	Data ke	h11	h12	h21	h22
			kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)	kompleks (1E+3)
21 Juni	Siang	31	0,0004 + 0,0007i	0,0018 - 0,0002i	-2,7618 + 2,2360i	-4,6408 + 1,1082i
		32	0,001 - 0,001i	0,0004 + 0,0002i	8,377 + 14,293i	4,546 + 1,392i
		33	0,0017 - 0,0004i	0,0010 - 0,0010i	7,2205 - 3,7461i	0,9338 + 0,0602i
		34	-0,0001 + 0,004i	0,002 - 0,001i	5,082 - 18,011i	-6,893 + 7,768i
	Sore	1	-0,0006 + 0,0021i	-0,0009 + 0,0014i	-6,6779 - 7,2184i	6,6720 - 6,0433i
		2	0,002 + 0,001i	-0,001 + 0,0004i	1,152 - 4,212i	10,574 - 6,151i
		3	0,004 - 0,001i	-0,0001 - 0,001i	-21,730 + 2,365i	-15,877 + 1,606i

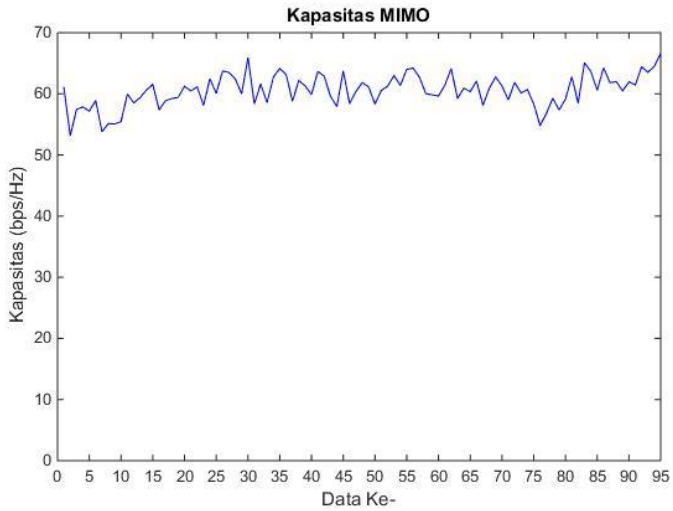
Tabel Hasil Perhitungan Kapasitas

Tanggal	Waktu	Data ke	Kapasitas MIMO
20 Juni	Pagi	1	61,0073
		2	53,1518
		3	57,4653
		4	57,8603
		5	57,1687
		6	58,9011
		7	53,7951
		8	55,1299
		9	55,0794
	Siang	1	55,4484
		2	59,9612
		3	58,5217
		4	59,3861
		5	60,6157
		6	61,5380
		7	57,3731
		8	58,8802
		9	59,2290
		10	59,4245
		11	61,2235
		12	60,4705
		13	61,1253
		14	58,1102
		15	62,4709
		16	60,0570
		17	63,7364

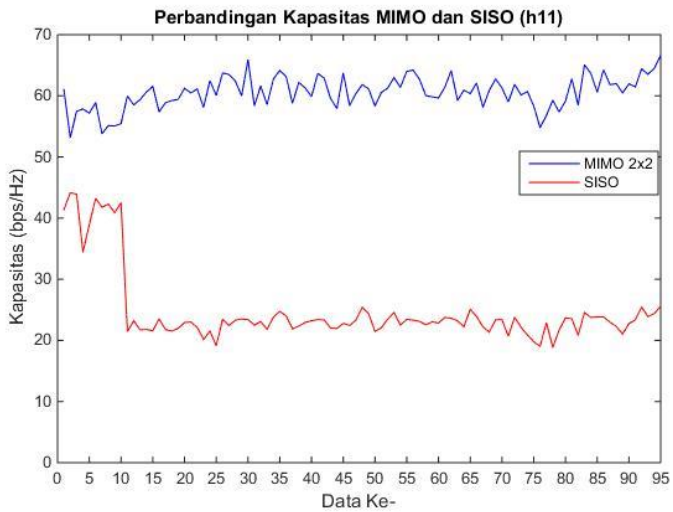
Lanjutan Tabel Perhitungan Kapasitas			
Tanggal	Waktu	Data ke	Kapasitas MIMO
20 Juni	Siang	19	62,3938
		20	59,9981
		21	65,9155
		22	58,3715
		23	61,6213
		24	58,5601
		25	62,7607
	Sore	1	64,1433
		2	63,1628
		3	58,7784
		4	62,1964
		5	61,2927
		6	59,8743
		7	63,6682
		8	62,8751
		9	59,5797
		10	57,9202
		11	63,7543
		12	58,3951
		13	60,3996
		14	61,8222
		15	61,1192
		16	58,3278
21 Juni	Pagi	1	60,5772
		2	61,2715
		3	62,9809

Lanjutan Tabel Perhitungan Kapasitas			
Tanggal	Waktu	Data ke	Kapasitas MIMO
21 Juni	Pagi	4	61,3840
		5	63,9911
		6	64,2077
		7	62,7149
		8	60,0593
	Siang	1	59,8245
		2	59,6422
		3	61,3940
		4	64,1311
		5	59,2378
		6	60,9371
		7	60,3447
		8	62,1058
		9	58,1196
		10	60,8822
		11	62,7620
		12	61,2865
		13	58,9962
		14	61,8839
		15	60,1316
		16	60,7079
		17	58,3578
		18	54,8009
		19	56,7879
		20	59,2809
		21	57,3632

Lanjutan Tabel Perhitungan Kapasitas			
Tanggal	Waktu	Data ke	Kapasitas MIMO
21 Juni	Siang	22	59,1267
		23	62,8024
		24	58,4692
		25	65,0675
		26	63,6602
		27	60,5945
		28	64,2504
		29	61,8370
		30	61,9834
		31	60,4881
		32	61,9479
		33	61,4620
		34	64,4017
	Sore	1	63,5253
		2	64,5251
		3	66,6063



Gambar 9 Grafik Kapasitas MIMO



Gambar 10 Grafik Perbandingan Kapasitas MIMO dan SISO

LAMPIRAN D

DATASHEET USRP N210



USRP™ N200/N210 NETWORKED SERIES



FEATURES:

- Use with GNU Radio, LabVIEW™ and Simulink™
- Modular Architecture: DC-6 GHz
- Dual 100 MS/s, 14-bit ADC
- Dual 400 MS/s, 16-bit DAC
- DDC/DUC with 25 mHz Resolution
- Up to 50 MS/s Gigabit Ethernet Streaming
- Fully-Coherent MIMO Capability
- Gigabit Ethernet Interface to Host
- 2 Gbps Expansion Interface
- Spartan 3A-DSP 1800 FPGA (N200)
- Spartan 3A-DSP 3400 FPGA (N210)
- 1 MB High-Speed SRAM
- Auxiliary Analog and Digital I/O
- 2.5 ppm TCXO Frequency Reference
- 0.01 ppm w/ GPSDO Option

N200/N210 PRODUCT OVERVIEW:

The Ettus Research™ USRP™ N200 and N210 are the highest performing class of hardware of the USRP™ (Universal Software Radio Peripheral) family of products, which enables engineers to rapidly design and implement powerful, flexible software radio systems. The N200 and N210 hardware is ideally suited for applications requiring high RF performance and great bandwidth. Such applications include physical layer prototyping, dynamic spectrum access and cognitive radio, spectrum monitoring, record and playback, and even networked sensor deployment.

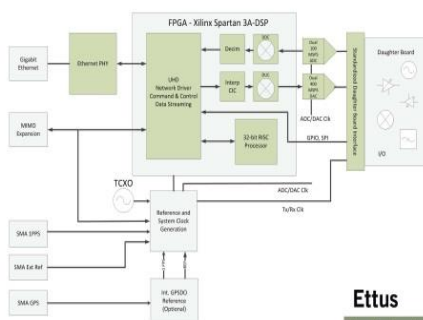
The Networked Series products offers MIMO capability with high bandwidth and dynamic range. The Gigabit Ethernet interface serves as the connection between the N200/N210 and the host computer. This enables the user to realize 50 MS/s of real-time bandwidth in the receive and transmit directions, simultaneously (full duplex).

The Networked Series MIMO connection is located on the front panel of each unit. Two Networked Series units may be connected to realize a complete 2x2 MIMO configuration using the optional MIMO cable. External PPS and reference inputs can also be used to create larger multi-channel systems. The N200 and N210 are largely the same, except that the N210 features a larger FPGA for customers that intend to integrate custom FPGA functionality.

The USRP Hardware Driver™ is the official driver for all Ettus Research products. The USRP Hardware Driver supports Linux, Mac OSX, Windows.

SPECIFICATIONS

* All specifications are subject to change without notice.



Etus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Etus Research products maintain support from a variety of software frameworks, including GNU Radio. Etus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 2004 and is based in Mountain View, California. As of 2010, Etus Research is a wholly owned subsidiary of National Instruments.

The logo for Ettus Research, a National Instruments Company. It features the word "Ettus" in a bold, black, sans-serif font on the left, and "Research™" in a similar font on the right. A horizontal line with an arrow pointing to the right passes through the middle of the text. Above the line, there are four circles of increasing size from left to right. Below the line, there are four circles of decreasing size from left to right. Below "Research™", the text "A National Instruments Company" is written in a smaller, italicized font.

1043 North Shoreline Blvd
Suite 100
Mountain View, CA 94043
P 650.967.2870 www.ettus.com
F 866.807.9801

LAMPIRAN E

LISTING PROGRAM

```
%=====
%
%Program Design Filter Digital Low Pass untuk IQ
signal
%=====
%=====

clear all;
close all;
clc;

%% Data yang akan diolah
data_Rx = xlsread('E:\TA peliss\data
pengukuran\Juni\20 Juni 2017\Hasil 3\IQ
Data.csv', 'IQ Data', 'A2:WQJ5');
baca_file2 = csvread('C:\Users\USER\Downloads\4
Sinyal DC dengan octoclock\tx.csv',3,0);

t1 = abs(reshape(baca_file2(:,1) +
1i*baca_file2(:,2),1,[]));
t2 = abs(reshape(baca_file2(:,3) +
1i*baca_file2(:,4),1,[]));

r1 = (reshape(data_Rx(1,:) ' +
1i*data_Rx(2,:) ' ,1,[]));
r2 = (reshape(data_Rx(3,:) ' +
1i*data_Rx(4,:) ' ,1,[]));

figure(1)
plot(linspace(-
100000,100000,length(r1)),abs(fftshift(fft(r1)))
);
grid on
title('Baseband power spectrum sinyal ch 1');
```

```

figure(2)
plot(linspace(-100000,100000,length(r2)),
abs(fftshift(fft(r2))));
grid on
title('Baseband power spectrum sinyal ch 2');

%% Perkalian masing2 Rx dengan carrier signal
Fs=100000;
t=(1:16000)/Fs;

fc1 = cos(2*pi*22500*t/2);
fc2 = cos(2*pi*82500*t/2);

rfch_0 = r1(1:16000).*(fc1); %ch1 adalah Rx1;
rfch_02 = r1(1:16000).*(fc2); %ch1 adalah Rx2;
rfch_1 = r2(1:16000).*(fc1); %ch2 adalah Rx1;
rfch_12 = r2(1:16000).*(fc2); %ch2 adalah Rx2;

figure(3);
plot(linspace(-100,100,length(rfch_0)),
abs(fftshift(fft(rfch_0))));
grid on;
title ('Hasil kali spektrum ch 1 dengan fc 1');
figure(4);
plot(linspace(-100,100,length(rfch_02)),
abs(fftshift(fft(rfch_02))));
grid on;
title ('Hasil kali spektrum ch 1 dengan fc 2');
figure(5);
plot(linspace(-100,100,length(rfch_1)),
abs(fftshift(fft(rfch_1))));
title ('Hasil kali spektrum ch 2 dengan fc 1');
grid on
figure(6);
plot(linspace(-100,100,length(rfch_12)),
abs(fftshift(fft(rfch_12))));
grid on
title ('Hasil kali spektrum ch 2 dengan fc 2');

```

```

% % ===== FILTEEERRR ===== %

M = 800;
for n= 1:M;
    if 0<=n<=M;
        w(n)=0.54-0.46.*cos (2.*pi.*(n)/M) ;
    else
        w(n)=0;
    end
end

y11 = conv(rfch_0,w);
y11pt = y11(400:16399);
y11m=fftshift(fft(y11pt));
h11 = mean(y11m([8000 8001]));

figure(8)
plot(linspace(-
100,100,length(rfch_0)),abs(y11m));
title('Respon Kanal h11')
xlabel('Frekuensi (Hz)')
ylabel('Signal Magnitude')
grid on

y12 = conv(rfch_02,w);
y12pt = y12(400:16399);
y12m=fftshift(fft(y12pt));
h12 = mean(y12m([8000 8001]));

figure(9)
plot(linspace(-
100,100,length(rfch_02)),abs(y12m));
title('Respon Kanal h12')
xlabel('Frekuensi (Hz)')
ylabel('Level Sinyal, X(f)')
grid on

```

```

    y21 = conv(rfch_1,w);
    y21pt = y21(400:16399);
    y21m=fftshift(fft(y21pt));
    h21 = mean(y21m([8000 8001]));

    figure(10)
    plot(linspace(-
100,100,length(rfch_1)),abs(y21m));
    title('Respon Kanal h21')
    xlabel('Frekuensi (Hz)')
    ylabel('Level Sinyal, X(f)')
    grid on

    y22 = conv(rfch_12,w);
    y22pt = y22(400:16399);
    y22m=fftshift(fft(y22pt));
    h22 = mean(y22m([8000 8001]));

    figure(11)
    plot(linspace(-
100,100,length(rfch_12)),abs(y22m));
    title('Respon Kanal h22')
    xlabel('Frekuensi (Hz)')
    ylabel('Level Sinyal, X(f)')
    grid on

%-----%
-----%

%Korelasi
a = xlsread('E:\TA peliss\data pengukuran\rekap
korelasi kapasitas fix.xlsx','data
campur','H5:H99');
b = xlsread('E:\TA peliss\data pengukuran\rekap
korelasi kapasitas fix.xlsx','data
campur','I5:I99');
datah11 = a + 1i*b;

```

```

c = xlsread('E:\TA peliss\data pengukuran\rekap
korelasi kapasitas fix.xlsx','data
campur','K5:K99');
d = xlsread('E:\TA peliss\data pengukuran\rekap
korelasi kapasitas fix.xlsx','data
campur','L5:L99');
datah12 = c + 1i*d;

e = xlsread('E:\TA peliss\data pengukuran\rekap
korelasi kapasitas fix.xlsx','data
campur','N5:N99');
f = xlsread('E:\TA peliss\data pengukuran\rekap
korelasi kapasitas fix.xlsx','data
campur','O5:O99');
datah21 = e + 1i*f;

g = xlsread('E:\TA peliss\data pengukuran\rekap
korelasi kapasitas fix.xlsx','data
campur','Q5:Q99');
h = xlsread('E:\TA peliss\data pengukuran\rekap
korelasi kapasitas fix.xlsx','data
campur','R5:R99');
datah22 = g + 1i*h;

kor_11_12 = abs(corrcoef(datah11,datah12));
rho_11_12 = kor_11_12(1,2);

kor_11_21 = abs(corrcoef(datah11,datah21));
rho_11_21 = kor_11_21(1,2);

kor_11_22 = abs(corrcoef(datah11,datah22));
rho_11_22 = kor_11_22(1,2);

kor_12_21 = abs(corrcoef(datah12,datah21));
rho_12_21 = kor_12_21(1,2);

kor_12_22 = abs(corrcoef(datah12,datah22));
rho_12_22 = kor_12_22(1,2);

```



```

kor_21_22 = abs(corrcoef(datah21,datah22));
rho_21_22 = kor_21_22(1,2);

rho = [rho_11_12; rho_11_21; rho_11_22;
rho_12_21; rho_12_22; rho_21_22]

%-----
-----%

% %Menghitung Kapasitas MIMO

pt = 20 ; %daya pancar

pete = 1/(sqrt(pt)); %satu per akar daya pancar
H = pete.*[h11 h12;h21 h22]; %matriks MIMO 2x2
Hh = H'; %transpose conjugate matriks MIMO 2x2
Rss = eye(2); %matriks identitas 2x2
matriksH = H*Rss*Hh; %perkalian matriks
%penoise=z^2; %daya noise rata-rata
penoise = 0.00000596;
kali = (pt/penoise).*matriksH; %perkalian daya
noise dengan hasil kali matriks
jumlah = eye(2,2) + kali; %penjumlahan matriks
identitas dan matrik kali
detjum = det(jumlah); %determinan dari jumlah
%kapasitas = abs(log(detjum)/log(2));
kapasitas = log2(real(detjum));

%Menghitung Kapasitas SISO
C11 = log2(1+((pt/penoise)*((abs(h11))^2)));
C12 = log2(1+((pt/penoise)*((abs(h12))^2)));
C21 = log2(1+((pt/penoise)*((abs(h21))^2)));
C22 = log2(1+((pt/penoise)*((abs(h22))^2)));

```

RIWAYAT PENULIS



Isma Choiriyah lahir di Sidoarjo, Jawa Timur pada tanggal 13 September 1991. Penulis memulai pendidikannya dari MINU WARU II, SMPN 3 Sidoarjo, dan SMAN 1 Sidoarjo. Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan studinya di D3 Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom Bandung dan lulus pada tahun 2012. Selanjutnya pada tahun 2015 penulis meneruskan studi sarjana di Teknik Elektro FTE-ITS, kemudian fokus pada bidang studi Teknik Telekomunikasi Multimedia. Pada bulan Juli 2017, penulis mengikuti seminar dan Ujian Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]